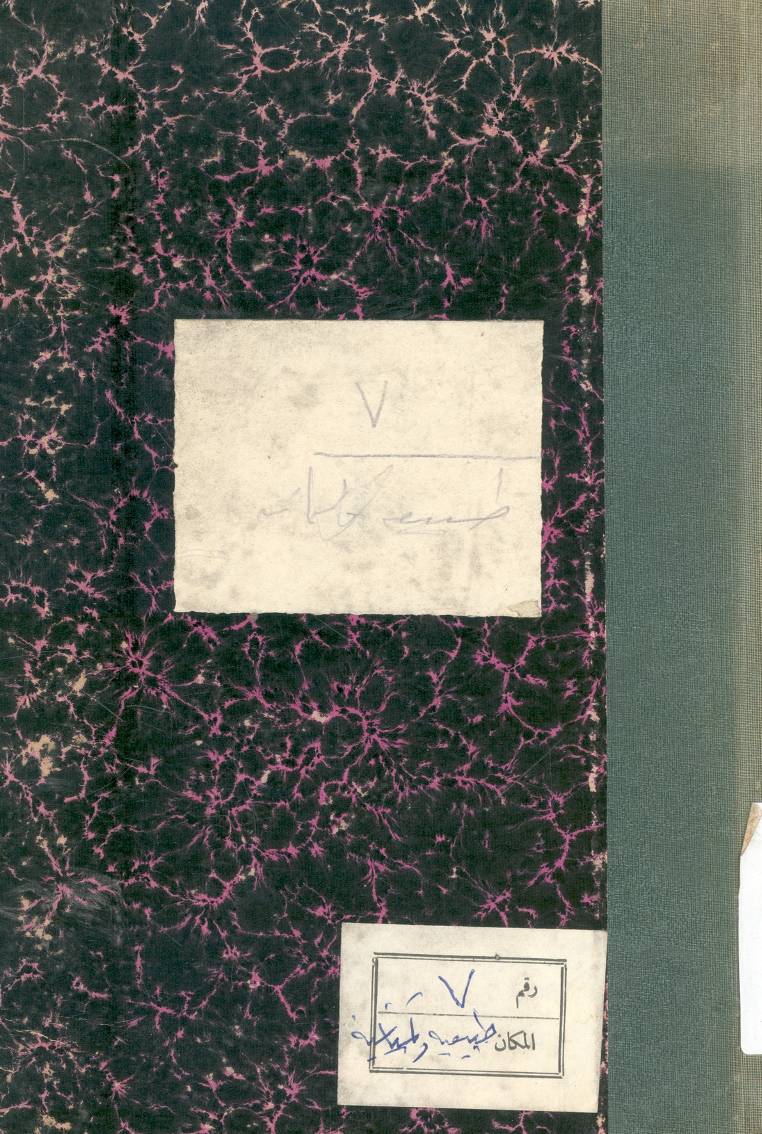

٧
رقم ٧
المكان طبيعية وكيمياوية

فهرست

الجـــــزء الرابع

من

كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت والضوء

فهرست الجزء الثاني من كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت

الكلام على الصوت

تابع (فهرست الجزء الرابع من كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت والضوء)

صحيفة

الكلام على الضوء

تابع (فهرست الجزء الرابع من كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت والضوء)

صحيفة

تابع (فهرست الجزء الرابع من كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت والضوء)

صحيفة

تابع (فهرست الجزء الرابع من كتاب الطبيعة المشتمل على الصوت والضوء)

صحيفة

(تمت الفهرست)

الجـــــزء الرابع

من

كتاب الطبيعة وهو مشتمل على الصوت والضوء

تأليف

حضرة اسماعيل افندى حسنين

مدرس الكيميا والطبيعة بمدرسة المهندسخانة الخديوية

قررت نظارة المعارف العمومية لزوم طبع هذا الجزء وتدريسه بالمدارس الاميرية
بعد أن تصدّق عليه من اللجنة المشكلة فى النظارة بتاريخ ٢٢ نوفمبر سنة ٩٠ نمرة ١٧٣

(الطبعة الثانية)

بالمطبعة الكبرى الاميرية ببولاق مصر المحمية

سنة ١٨٩٦

افرنجيه



بسم الله الرحمن الرحيم

الكلام على الصوت

الباب الاول

(فى تولد الصوت وانتشاره)

الفصل الاول

(فى تولد الصوت)

(فى بيان أن الصوت ناتج عن حركة اهتزازية)

ان كل صوت يكون على الدوام ناتجا عن حركة اهتزازية حاصلة فى جسم مادى فمثلا اذا طرق بجسم صلب على كوبة من البلور لاجل حدوث صوت ومست حافة هذه الكوبة بالاصبع مسا خفيفا حصل فيه رجات سريعة جدا تدل على اهتزاز الكوبة واذا ضغط بالاصبع على الحافة الملموسة لايقاف حركتها الاهتزازية شوهد انقطاع الصوت فى الحال كذا اذا علقت كرة صغيرة من العاج ملامسة لجدر ناقوس من الزجاج ثم أحدث فى الناقوس صوت شوهد أن الكرة تفعل جملة حركات ذهاب واياب سريعة تدل على حركة اهتزاز الناقوس

ولبيان طبيعة الحركات الاهتزازية التى تحصل فى الاجسام الرنانة عندما تولد صوتا تثبت صفيحة من الصلب أ ب فى منجلة ح (شكل ١) ثم تبعد عن وضعها الذى تكون فيه فى حالة موازنة بأن تجعل فى الموضع أ ى مثلا وتترك فيشاهد عند ذلك أنها تعود الى وضعها الاصلى الا أنها لا تثبت فيه بل تتعدّاه الى أن تصير فى وضع أ هـ مماثل للوضع أ ى ثم تعود بالثانى الى أ ى وهكذا وكل حركة تامة من هذه الحركات مكوّنة من ذهاب واياب يقال لها ذبذبة واذا اعيدت التجربة السابقة جملة مرات بعد تقصير الجزء المتذبذب فى كل منها شوهد أن سرعة التذبذب تزداد بتقصير الجزء المتذبذب الى أن تصير حركة الذهاب والاياب سريعة جدا حتى انه لا يمكن مشاهدتها وعند ذلك يرى أن الطرف الخالص من الصفيحة مفرطح وذلك لكون العين تراه وهو شاغل أوضاعه المختلفة فى آن واحد وأخيرا فعندما تصير سرعة التذبذب عظيمة يرى أن الصفيحة تولد صوتا مادام حاصلا فيها التذبذب

ش ١

ويمكن بيان ذلك أيضا بواسطة وتر مشدود فاذا أبعد عن وضعه الذى يكون فيه فى حالة موازنة وترك شوهد فيه تفرطح خصوصا فى جزئه المتوسط واذا كان مشدودا شدّا قويا فيسمع منه صوت عندما يتذبذب وذلك لان سرعة تذبذبه عند ذلك تكون عظيمة

(الفرق بين الشدة والارتفاع والنغمة)

اذا عدنا الى التجربة السالفة وأعطينا الى الصفيحة طولا بحيث تولد صوتا عندما تذبذب وأبعدناها عن وضعها الاصلى قليلا أو كثيرا لتتذبذب شوهد أن الصوت الذى تولده يكون أقوى أى أشد كلما كان اتساع الذبذبة المقابلة له أعظم ولو أن طبيعة الصوت المتولد تكون واحدة ومن هنا يرى أنه يمكن أن يقال ان شدة الصوت تتغير بتغير اتساع الذبذبة المقابلة له

وزيادة على ذلك فقد ظهر لنا فيما سبق انه بقصر الجزء المتذبذب تزداد سرعة التذبذب وتزداد أيضا تبعا لها حدّة الصوت وبذلك يرى أنه يمكن أن يقال ان حدة الصوت أى ارتفاعه تزداد بازدياد عدد الذبذبات التى تحصل فى زمن واحد وأخيرا فتوجد أصوات شدتها واحدة وارتفاعها واحد وتختلف عن بعضها بصفة ثالثة تسمى بالنغمة وهى التى تسمح لنا بتمييز أصوات أنواع الآلات الموسيقية عن بعضها كذا هى التى تسمح لنا بتمييز أصوات الأشخاص المختلفة والنغمة ناتجة من كون كل صوت تولده آلة مخصوصة يكون دائما مصحوبا بجملة أصوات أخر خاصة بتلك الآلة دون غيرها

(اللغــــط)

توجد أصوات لا تحدث على الاذن احساسا مقبولا كالاصوات الموسيقية وذلك كمصادمة مطرقة لسندال وحصول الرعد وغير ذلك وتسمى لغطا وهذه الاصوات ولو أنها لا تدوم الا مدة يسيرة جدا فان لكل منها شدة وارتفاعا ونغمة خاصة به كباقى الاصوات

الفصـــــل الثـانى

(فى انتشار الصوت)

(فى كيفية انتشار الصوت فى الهواء والامواج الصوتية)

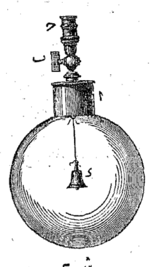
عنـدما يولد جسم رنان صوتا فى الهواء فان الاهتزازات التى تحصل فيه عند ذلك تنتقل الى الهواء الذى يحيط به وهو الذى يوصلها الى آذاننا

ولبيان الصفة التى ينتقل بها الصوت فى الهواء يكفى ملاحظة ما يحصل على سطح ماء راكد عندما تمس نقطة من نقطه جملة مرات متتالية بطرف عصاة فيشاهد عند ذلك تولد جملة أمواج صغيرة دائرية تبعد شيأ فشيأ عن النقطة التى تتولد فيها واذا تأمل للاجسام الخفيفة السابحة على سطح ذلك السائل يرى أنها ترتفع كلما تقابلها موجة بدون أن تنتقل من مواضعها ومن ذلك ينتج أن الاضطراب الذى يحصل فى النقطة الممسوسة بالعصاة يولد فى جميع نقط السائل على التعاقب بدون أن ينقلها حركات صعود وهبوط مشابهة للتى تحصل فى تلك النقطة وبهذه الكيفية ينتشر أيضا الصوت فى الهواء أى أن الجسم المتذبذب لا يولد حركة انتقالية فى الهواء بل يحدث فى نقطه على التعاقب حركات ذهاب واياب صغيرة مشابهة للتى تحصل

فى الجسم الرنان والذى يولد سمع الصوت هى الحركة الاهتزازية التى تحصل فى الطبقة الهوائية الملامسة لغشاء الطبلة وقد سميت الاضطرابات التى تحصل فى الهواء حول الجسم الرنان بالامواج الصوتية وذلك للاشتباه الموجود بينها وبين الامواج المائية

(فى بيان أن الصوت لا ينتشر فى الفراغ)

اذا تذبذب جسم فى الفراغ فان ذبذباته لا تصل الى آذاننا ويثبت ذلك بواسطة قبابة من الزجاج ذات حنفية معلق فيها جرس بواسطة فتلة من الحرير أو من الصوف كما فى (شكل ٢) فاذا فعل الفراغ فى هذه القبابة ورج جرسها فلا يسمع منه أدنى صوت أما اذا أدخل فيها قليل من الهواء ورج الجرس فيسمع صوت خفيف يزداد بازدياد كمية الهواء التى تدخل فى القبابة وذلك يثبت أن الصوت لا ينتشر فى الهواء المتخلخل كما ينتشر فى الهواء الذى ضغطه يعادل الضغط الجوى ولذا أنه عندما يصل الاشخاص الذين يصعدون فى القباب الطيارة الى ارتفاعات عظيمة يصير سماعهم لاصوات بعضهم بصعوبة جدا



ش ٢

(فى انتشار الصوت فى الاجسام السائلة والصلبة)

ان الاهتزازات الصوتية تنتقل فى الاجسام السائلة كما تنتقل فى الاجسام الغازية والدليل على ذلك أن الغطاسين يسمعون اللغط الذى يحصل على شاطئ البحر وهم فى قاعه أما الاجسام الصلبة فنقلها للصوت يزيد بكثير عن نقل الاجسام السائلة والغازية له فانه اذا وضع انسان أذنه على طرف كتلة من الخشب طولها يبلغ بعض أمتار وحك انسان آخر طرف الكتلة الثانى بدبوس فان الشخص الاول يسمع الصوت الناتج من ذلك الاحتكاك وكذا اذا وضع الانسان أذنه على سطح الارض فانه يسمع سير العربات على مسافات بعيدة

تنبيه — ان الاجسام اللينة كالمشاق والقطن المندوف لا تنقل الصوت نقلا تاما ولذا انها تستعمل أحيانا لمنع مرور الصوت فتحشى بها الابواب كى لا يسمع ما يقال فى أودة من أخرى مجاورة لها

الفصـــــل الثـالث

(فى ســـــرعة انتشار الصـــــوت)

(سرعة انتشار الصوت فى الهواء)

اذا نظر انسان الى مدفع وقت طلقه وهو بعيد عنـه فانه يرى اللهب الذى يخرج منـه قبل أن يسمع الفرقعة فهذا يدل على أن انتشار الصوت ليس وقتيا بل يســتغرق زمنا لانتقاله من نقطة الى أخرى

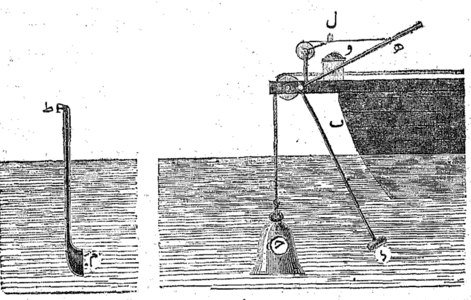
ومن جهـة أخرى اذا لاحظ الانسان ألحان موسيقى تصـدح على بعد فانه يسمع تطابق وتوالى ألحانها كما لو كان بجوارها فهـذا يدل أيضا على أن جميع الاصوات تسرى فى الهواء بسرعة واحدة مهما كان ارتفاعها وشـدتها وعلى ذلك يكفى لتعيين سرعة انتشار الاصوات تعيين سرعة انتشار أحدها

ثم انه اذا انتقل انسان فى نقط مختلفة البعد عن مدفع وصار يعين فى كل منها الزمن الذى يمضى من وقت رؤيته لهب المدفع الى سماع صوته فانه يرى أن هذه الازمنة تكون مناسـبة لابعاد تلك النقط عن المدفع فهـذا دليل أيضا على أن سرعة انتشار الصوت منتظمة ولذا عرفت سرعة الصوت بالمسافة التى يقطعها فى الثانية الواحدة

وأول تجربة فعلت لتعيين سرعة الصوت بضبط كاف كانت فى فرنسا سنة ١٨٢٢ وقد فعلت هذه التجربة بالقرب من باريس بين فيلجويف ومونتيرى فوضع مدفعان فى البلدين المذكورين وطلق المدفع الذى فى البلد الاولى فحسب الذين فى البلد الثانية الزمن الذى مضى من وقت رؤية لهب المدفع الى سماع صوته ثم طلق المدفع الذى فى البلد الثانيـة خوفا من أن يكون لاتجاه الهواء تأثير على انتشار الصوت وحسب الذين فى البلد الاولى الزمن الذى مضى من وقت رؤية اللهب الى سماع الصوت وقد عملت هذه التجربة جملة مرار لزيادة الضـبط وأخذ متوسط تلك الاعداد وحيث كان يمكن أن يعتبر أن الضوء يقطع المسافة الواقعة بين البلدتين المذكورتين فى مدة غير محسوسة اذن يكون متوسط هذه الاعداد هو الزمن الذى يقطع فيه الصوت المسافة المذكورة وعلى ذلك فاذا قسم هـذا المتوسط على مقدار هذه المسافة يكون خارج القسمة هو سرعة الصوت وقد عملت هذه القسمة فكان الخارج هو ٣٤٠ مترا أعنى أن الصوت يقطع فى الهواء ٣٤٠ مترا فى الثانية الواحدة

(سرعة الصوت فى الاجسام السائلة والصلبة)

قد عين (ستروم) و (كوللادوم) سنة ١٨٢٧ سرعة الصوت فى الماء وجعلا تجربتهما فى بحيرة جنيفة فغمرا فى الماء ناقوسا ح معلقا فى مركب ب (شكل ٣) وقرعا على الناقوس بمطرقة ى يدها هـ موجودة خارج الماء وحيث كانت تحدث حركة المطرقة وقت حصول القرعة التهاب كمية من البارود موضوعة فى نقطة و بسطح المركب فكان يتيسر لاحد المجربين الموجودين بالشاطئ الآخر من البحيرة حساب الزمن الذى يمضى من وقت رؤيته التهاب البارود أى من وقت حصول القرعة الى وقت سماع الصوت المنتشر فى الماء وكان يتوصل لسماع الصوت بوضع الاذن على فتحة ط من قرين سمعى فتحته الاخرى م مغمورة فى الماء تجاه الناقوس ومسدودة بغشاء رقيق ينقل الامواج الصوتية التى تحصل فى الماء الى هواء القرين السمعى الذى ينقلها الى الاذن وقد وجد (ستروم) و (كوللادوم) بهذه الصفة أن سرعة الصوت فى الماء هى ١٤٣٥ مترا أى أنها أربعة أمثال سرعته فى الهواء



ش ٣

وأما سرعة الصوت فى الاجسام الصلبة فهى أعظم أيضا فقد عمل (بيوت) عدة تجارب على مواسير الزهر المعدة لتوصيل المياه فظهر له أن سرعة الصوت فى الحديد الزهر هى تقريبا قدر سرعته فى الهواء عشر مرات ونصف

(انعكاس الصوت والصدى)

اذا صادمت الامواج الصوتية فى سيرها عائقا ثابتا فانها تنعكس بواسطته كما ينعكس الضوء بسطح مصقول وانعكاس الصوت بهذه الكيفية هو المحدث للصدى فانه متى صرخ انسان على

مسافة من حائط مرتفع أو تل يسمع اعادة صوته بعد زمن طويل أو قصير على حسب بعد المسافة وذلك لان الامواج الصوتية عندما تصادم الحائط أو التل ترد بواسطته الى أذنه

ولاجل سماع الصدى يلزم أن يكون بعد العارض الذى يرتد عليه الصوت عن الشخص المتكلم ١٧ مترا على الاقل وذلك لانه لا يمكن سماع صوتين متفاوتين الا اذا كانت المسافة بين حدوثهما عشر ثانية على الاقل وبما أن الصوت يقطع فى عشر ثانية ٣٤ مترا فيجب حينئذ لسماع الصدى وجود الشخص المتكلم على نصف هذه المسافة من العائق أى على ١٧ مترا منه وبدون ذلك فانه يسمع صوته والصدى الناتج منه فى آن واحد

الباب الثانى

(فى ارتفاع الصوت ونظرية الموسيقى)

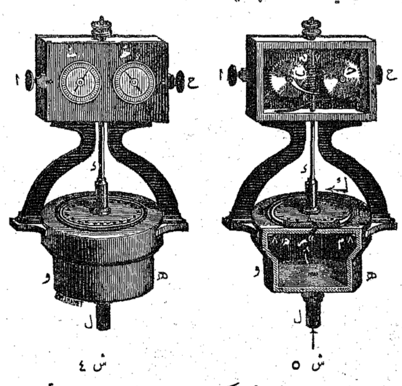
الفصل الاول

(فى الاجهزة المعدة لعد الاهتزازات الصوتية)

(السيرينا المسماة بنت الماء)

قد ظهر لنا فيما سبق أن الاجسام الرنانة تولد أصواتا ارتفاعها يزداد بازدياد عدد الذبذبات التى تحصل فى زمن واحد ولاجل عدد الذبذبات التى تقابل كل صوت تستعمل جملة أجهزة أهمها بنت الماء وهى تتركب كما فى (شكل ٤) من علبة اسطوانية هـ و فى قاعها فتحة مثبتة عليها أنبوبة ل معدة لتوصيل العلبة المذكورة بمنفاخ والجزء العلوى من هذه العلبة مسدود بقرص ثابت م ن (شكل ٥) فيه عدة ثقوب متساوية الابعاد ومكونة لمحيط دائرة واحد وكلها مائلة على سطح هذا القرص وذلك كالثقب ں ومن هذه الثقوب يخرج الهواء الذى يأتى فى العلبة هـ و من المنفاخ المتصل بها وفوق القرص م ن يوجد قرص آخر محكم عليه ومتحرك حول محور رأسى ى ويوجد فى هذا القرص عدة ثقوب كثقوب القرص السابق الا أن ميلها مضاد لميل ثقوب ذلك القرص وذلك كالثقب b وعلى ذلك اذا وجد ثقبان من القرصين أمام بعضهما تكون جميع الثقوب الأخر أمام بعضها فاذا فرض حينئذ أن القرصين فى هذا الوضع أى أن ثقوبهما متقابلة مثنى مثنى فالهواء الذى ينفذ من ثقوب القرص السفلى يضغط على جدر ثقوب القرص العلوى عند نفوذه منها ويحدث دفعة

على القرص المذكور ويديره حينئذ فى الاتجاه المبين بالسهم لـ وبما أن هذه الحركة تجعل فى الحال ثقوب القرصين غير متقابلة فيقف حينئذ مرور الهواء الا أنه يمر ثانيا متى دار القرص بمقدار المسافة الموجودة بين ثقبين ويحدث دفعة ثانية على القرص المتحرك وهكذا فينتج من ذلك حينئذ أنه مادام الهواء آتيا من المنفاخ الى علبة بنت الماء فان القرص العلوى من هذه الآلة يدور بسرعة تزداد بازدياد كمية الهواء التى تنفذ منه ومتى صارت سرعة الدوران عظيمة يشاهد حدوث صوت يزداد ارتفاعه بازدياد سرعة الدوران



ولاجل بيان طبيعة الصوت المتولد بهذه الكيفية وسبب تولده نفرض مثلا أن القرص الثابت من بنت الماء المستعملة فيه اثناعشرة فتحة وأن القرص المتحرك فيه فتحة واحدة ففى كل دورة من هذا القرص تأتى فتحته على التوالى أمام الاثنتى عشرة فتحة الموجودة فى القرص الثابت وبذلك ينفذ منها الهواء اثنتى عشرة مرة وينقطع مثلها وحيث ان الهواء الذى يخرج من هذه الفتحة يحدث دفعات متتالية على الهواء الخارجى فيتولد منه حينئذ صوت يزداد ارتفاعه بازدياد عدد الدفعات التى تحصل فى زمن واحد أى بازدياد سرعة الدوران

أما اذا كان فى القرص المتحرك اثناعشرة فتحة كما فى القرص الثابت فيرى انه متى كان أحد ثقوب القرص الاول أمام آخر من القرص الثانى تكون جميع الثقوب الاخر أمام بعضها مثنى مثنى ومن ذلك ينتج أن الهواء يخرج من الاثنتى عشرة فتحة مرة واحدة وتكون حينئذ الدفعة التى تحصل منه على الهواء الخارجى قوية أى أن شدة الصوت تزداد أما ارتفاعه فيكون كما كان

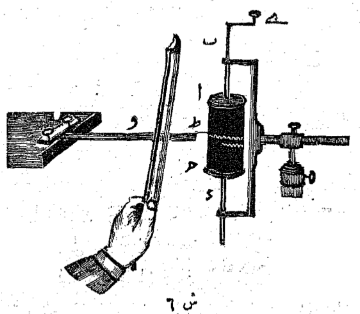
فى الحالة الاولى مادامت سرعة الدوران واحدة وذلك لان عدد الذبذبات التى تحصل فى الدورة الواحدة من القرص المتحرك يكون أيضا اثنى عشرة ذبذبة

ولاجل امكان عد الذبذبات التى تحصل فى زمن معين يصنع فى الجزء العلوى من محور الدوران ء (شكل ٥) قلاووظ و يدير عجلة مسننة ب لها مائة سنة وتدور بمقدار سنة واحدة كلما يدور القرص المتحرك دورة تامة وتشاهد حركة هذه العجلة من الخارج بواسطة ابرة مثبتة فى محورها وتتحرك أمام برواز مدرج ب َ (شكل ٤) و يوجد بجوار هذه العجلة عجلة ثانية ح (شكل ٥) حاملة أيضا لابرة تتحرك أمام برواز آخر بجوار البرواز الاول ومعدة لتعيين عدد الدورات التى تدور بها العجلة الاولى ولاجل التوصل لهذه الغاية يثبت فى محور العجلة ب ذراع K (شكل ٥) طرفه يأتى تحت سنة من اسنان العجلة ح كلما تدور العجلة الحاملة له دورة تامة فيدفع حينئذ الذراع المذكور هذه السنة أمامه لينفذ منها وبذلك تتقدم العجلة ح بمقدار السنة المذكورة والابرة الحاملة لها بمقدار قسم من أقسام البرواز المدرج وأخيرا فالعجلتان ح و ب مثبتتان على لوحة يمكن تحريكها جهة اليمين أو جهة اليسار بالضغط على أحد الزرين ا أو ع وبذلك يحدث تقريب العجلة ب من القلاووظ أو ابعادها عنه فتتبع حينئذ حركته أولا حسبما تكون معشقة فيه أو بعيدة عنه فاذا أريد حينئذ تعيين عدد الذبذبات التى تحصل عند تولد صوت تثبت بنت الماء على منفاخ وتوضع الابرتان على صفر تدريج البروازين ب َ و ح َ بعد جعل العجلة ب بعيدة عن القلاووظ ثم يمرر الهواء شيأ فشيأ الى أن يصير ارتفاع الصوت الذى تولده بنت الماء كارتفاع الصوت المراد تعيين عدد الذبذبات المقابلة له فيضغط حينئذ على الزر ا لجعل العجلة ب معشقة مع القلاووظ وتعين هذه اللحظة ثم يحفظ الصوت على ماهو عليه مدة من الزمن وذلك بتنظيم مرور الهواء فى الآلة وبعد ذلك يضغط على الزر ع لتبعيد العجلة ب عن القلاووظ وتعين هذه اللحظة أيضا ويستنتج من وضع الابرتين على البروازين المدرجين عدد الدورات التى دار بها القرص المتحرك فى هذه المدة ومنها عدد الذبذبات التى حصلت فاذا فرض مثلا أن التجربة استمرت ٤٥ ثانية وأن الابرة المتحركة على البرواز ح َ وصلت الى القسم الثانى والعشرين وأن الابرة المتحركة على البرواز الثانى وصلت الى القسم الخامس والثلاثين فيكون عدد الدورات التى دار بها القرص المتحرك هو ٢٢٣٥ ويكون حينئذ عدد الذبذبات هو ٢٢٣٥ × ١٢ أى ٢٦٨٢٠ ذبذبة وبقسمة هذا العدد على ٤٥ يكون خارج القسمة وهو ٥٩٦ عدد الذبذبات التى يحدثها الجسم الرنان المصنوعة عليه التجربة فى الثانية الواحدة

(تعيين النسبة الكائنة بين عدد ذبذبات صوتين)

يوجد آلات تصلح بالاخص لتعيين النسبة الكائنة بين عدد الذبذبات التى تحصل فى آن واحد عند تولد صوتين ارتفاعهما مختلفان

وأبسط هذه الآلات تتركب من اسطوانة اح (شكل ٦) سطحها مغطى بطبقة من النيلج ومحمولة على محور ب ى جزؤه العلوى مقلوظ ومار فى حلقة مقلوظة من الداخل فاذا أديرت هذه الاسطوانة بواسطة اليد ـه فانها تنخفض أو ترتفع حسب الاتجاه الذى تدار فيه بمقدار خطوة القلاووظ فى كل دورة والجزء و من الشكل عبارة عن ساق معدنى مثبت تثبيتا قويا من أحد طرفيه وطرفه الآخر خالص وحامل الابرة ط سنها متكئ على الاسطوانة اح فاذا أديرت هذه الاسطوانة وكان الساق و ثابتا فان سن الابرة ط يرسم على سطحها فى النيلج شكلا حلزونيا أما اذا أحدثت ذبذبة ذلك الساق قبل دوران الاسطوانة فيشاهد أن الحلزون المذكور متعرج كما ذلك مبين فى الشكل ومن الواضح أن كل تعريج من هذه التعاريج يكون مقابلا لذبذبة من ذبذبات الساق و



ش ٦

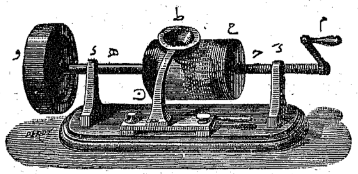
فاذا وضعنا الآن ساقا ثانيا كالساق و تحت ذلك الساق وأحدثنا ذبذبة الساقين فى آن واحد ثم أدرنا الاسطوانة بعد رسم خطين رأسيين على سطحها على بعد مناسب من بعضهما يرى أنه اذا كان الساقان يولدان صوتين ارتفاعهما واحد يكون عدد التعاريج الموجودة بين هذين الخطين واحدا فى كل من الحلزونين أى أن عدد الذبذبات التى يحدثها كل من الساقين فى زمن واحد يكون واحدا أما اذا كان الساقان يولدان صوتين مختلفين فيكفى لايجاد النسبة الكائنة

بين عدد الذبذبات التى تحصل فى آن واحد عند تولد هذين الصوتين عدّ التعاريج المقابلة لكل ساق على حدتها وقسمة العددين الناتجين على بعضهما

تنبيه - اذا فرض ان طبقة النيلج الموجودة على الاسطوانة اب تجمدت والتصقت على سطحها بعد رسم الشكل الحلزونى المتعرج فيها وادبرت هذه الاسطوانة بعد ابعاد طرف الابرة ط عنها فى اتجاه مضاد للذى اديرت فيه لرسم هذا الحلزون الى أن تعود الى وضعها الاصلى ثم وضع سن الابرة فى النقطة التى تبتدأ فيها التعاريج وادبرت الاسطوانة ثانيا فى الاتجاه الاول يرى أن السن المذكور يكون مجبورا أن يتبع التعاريج التى رسمها أولا على سطح الاسطوانة وبذلك يتذبذب القضيب و بالصفة التى كان يتذبذب بها عندما كوّن التعاريج المذكورة أى أنه يعيد الصوت الذى أحدثه أولا وعلى ذلك أسس الفونوجراف المنسوب الى (ايديسون)

(الفونوجراف)

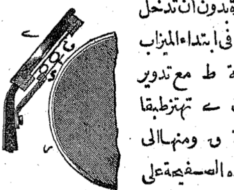
هو آلة معدة لطبع الامواج الصوتية عليها لتعيدها ثانيا وهو يتركب كما فى (شكل ٧) من اسطوانة من النحاس الاصفر ع محمولة على محور أفقى حـ هـ أحد نصفيه مقلوظ ويمر فى حلقة مقلوظة مثله كما ذلك مبين فى الشكل ويوجد على سطح الاسطوانة ع ميزاب حلزونى خطوته تساوى خطوة القلاووظ الذى على المحور فاذا اديرت حينئذ هذه الاسطوانة بواسطة اليد م فانها تتقدم جهة اليمين أو جهة اليسار حسب الاتجاه الذى تدار فيه بمقدار خطوة القلاووظ



ش ٧

الموجود عليها فى كل دورة وأخيرا يوجد أمام الاسطوانة ع اسطوانة صغيرة ط على هيئة قمع محمولة على حامل ن وفى قاعها صفيحة رفيعة ب (شكل ٨) تشبه صفيحة التليفون وهذه الصفيحة تتكئ مباشرة على انبوبة من الصمغ المرن و متكئة على صفيحة مرنة ى منتهية بسن مخروطى من الصلب موجود فى مقابلة الميزاب الحلزونى من الاسطوانة

فلاجل طبع الاهتزازات الصوتية على هذه الآلة يبتدأ بتغطية الاسطوانة ع بورقة من القصدير بحيث تكون موضوعة على الاجزاء البارزة بدون أن تدخل في الميزاب ثم يوضع طرف السن على سطح هذه الورقة في ابتداء الميزاب المذكور ويتكلم بصوت مرتفع امام فتحة الاسطوانة ط مع تدوير اليد م بحركة منتظمة ما أمكن فالصفيحة الصلب ـ تهتز طبقا للصوت المتولد وتنتقل اهتزازاتها الى الاسطوانة و ومنها الى الصفيحة ى فيرسم حينئذ السن الموجود في هذه الصفيحة على ورقة القصدير انبعاجات عميقة كثيرا أو قليلا على حسب شدّة الصوت



ش ٨

ولاجل اعادة ما ذكر أمام الآلة يبعد أولا السن عن الاسطوانة ثم تدار في اتجاه مضاد للذي اديرت فيه أولا الى أن تعود الى وضعها الاصلي ثم يقرب السن ويوضع طرفه على أول انبعاج ثم تدار في الاتجاه الاول فيرى أنها تعيد الجمل التي ذكرت أمامها والذي يحصل عند ذلك هو عكس ما حصل عند التكلم امام فتحة الاسطوانة القمعية أي أن الانبعاجات الموجودة في صفيحة القصدير هي التي تحدث اهتزاز الصفيحة ى بتأثيرها على السن الموجود فيها فتنتقل حينئذ هذه الاهتزازات الى الاسطوانة و ومنها الى الصفيحة ـ فيحصل حينئذ في هذه الصفيحة نفس الذبذبات التي حصلت فيها أول مرة وبذلك تعيد الاصوات

الفصل الثاني

(في المسافات الموسيقية والسلم الموسيقي)

(المسافات الموسيقية)

المسافة الموسيقية بين صوتين هي النسبة الكائنة بين عدد الذبذبات التي تقابل كلا منهما في زمن واحد

ويقال لصوتين انهما متحدا الصوت اذا قابلا عددا واحدا من الذبذبات في زمن واحد

ويقال لصوت انه جواب صوت آخر اذا كان عدد الذبذبات التي تقابله في زمن معين يساوي ضعف عدد الذبذبات التي تقابل الصوت الثاني في ذلك الزمن

وعادة لا تكون مسافات الاصوات الموسيقية مبينة بأعداد صحيحة بل بكسور فاذا اختصرت تلك الكسور يرى أنه كلما كان الكسر بسيطا كان اتحاد الصوتين المعتبر الكسر مسافة لهما يولد تأثيرا على الاذن لطيفا

(السلم الموسيقى)

السلم الموسيقى هو عبارة عن اجتماع ثمانية أصوات آخرها جواب أولها والمسافة بين كل اثنين منها ثابتة على الدوام

والسلم الاكثر استعمالا فى أوروبا والمستعمل فى الموسيقات بمصر تسمى أصواته بالاسماء الآتية

دو$_{١}$ رى مى فا صول لا سى دو$_{٢}$

فالصوت الاول من هذا السلم يقال له قرار

ولاجل الحصول على مسافات أصوات السلم المذكور عين بواسطة بنت الماء عدد الذبذبات التى تحصل فى ثانية واحدة عند تولد كل من هذه الاصوات ثم استعملت الاعداد الناتجة لايجاد المسافات الموسيقية التى توجد بين كل من هذه الاصوات والقرار فوجدت المسافات الآتية

دو$_{١}$	رى	مى	فا	صول	لا	سى	دو$_{٢}$
١	$\frac{٩}{٨}$	$\frac{٥}{٤}$	$\frac{٤}{٣}$	$\frac{٣}{٢}$	$\frac{٥}{٣}$	$\frac{١٥}{٨}$	٢

وحيث ان أبسط هذه المسافات هو $\frac{٣}{٢}$ يرى أن الصوتين اللذين باتحادهما يتولد عنهما أحسن تأثير على الاذن هما دو و صول ويليهما دو و مى وأخيرا فاجتماع الثلاثة أصوات المذكورة وهى دو و مى و صول يكوّن لما يسمى اتحادا كاملا

ويمكن استعمال النتائج السابقة للتحصل على المسافات التى توجد بين كل صوتين متتاليين فيكفى لاجل ذلك قسمة كل كسر من الكسور السابقة على الكسر الذى قبله كما هو مبين فى الجدول الآتى مع الاسماء التى سمت بها الموسيقيون هذه المسافات

المسافة من دو$_{١}$ الى رى هى $\frac{٩}{٨}$: ١ = $\frac{٩}{٨}$ وتسمى مقاما كبيرا

« « رى « مى « $\frac{٥}{٤}$: $\frac{٩}{٨}$ = $\frac{١٠}{٩}$ « « صغيرا

« « مى « فا « $\frac{٤}{٣}$: $\frac{٥}{٤}$ = $\frac{١٦}{١٥}$ « نصف مقام

« « فا « صول « $\frac{٣}{٢}$: $\frac{٤}{٣}$ = $\frac{٩}{٨}$ « مقاما كبيرا

« « صول « لا « $\frac{٥}{٣}$: $\frac{٣}{٢}$ = $\frac{١٠}{٩}$ « « صغيرا

« « لا « سى « $\frac{١٥}{٨}$: $\frac{٥}{٣}$ = $\frac{٩}{٨}$ « « كبيرا

« « سى « دو$_{٢}$ « ٢ : $\frac{١٥}{٨}$ = $\frac{١٦}{١٥}$ « نصف مقام

وحيث ان المسافة بين المقام الكبير والمقام الصغير تساوى $\frac{٨١}{٨٠}$ وهى أصغر مسافة تعتبر فى الموسيقى ولا يتيسر لشخص أن يميز بين صوتين تكون المسافة بينهما بهذا القدر الا اذا كان متعودا تعودا تاما على سماع الالحان الموسيقية فيطلق عادة اسم مقام على المقام الكبير والمقام الصغير

وينتج مما تقدم ان مسافات أصوات السلم الموسيقى الذى أساسه دو١ مكونة من مقامين متبوعين بنصف مقام ثم ثلاثة مقامات متبوعة بنصف مقام

ومتى كون سلم بهذه الصفة أعنى مبتدأ بالصوت دو١ ومنتهيا بالصوت دو٢ أمكن تكوين سلم ثان مبتدأ بالصوت دو٢ ومنتهيا بالصوت دو٣ ويكون كل صوت من أصوات هذا السلم جواب الصوت المقابل له من السلم الاول ويمكن أيضا تكوين سلم ثالث مبتدأ بالصوت دو٣ ومنتهيا بالصوت دو٤ وهكذا وبهذه الصفة تتكون أصوات متتالية آخذة ارتفاعاتها فى التزايد

تنبيه — اذا أريد تكوين سلم قراره خلاف الصوت دو يرى انه لجعل مسافات هذا السلم كمسافات السلمات التى قراراتها دو يجب تعويض بعض أصوات السلم المذكور بأصوات أخرى فمثلا اذا أريد انشاء سلم قراره صول لا يمكن ابقاء جميع الاصوات المستعملة سابقا كما هى أعنى بهذا الوضع

صول لا سى دو رى مى فا صول٢

لان المسافة بين مى و فا تساوى $\frac{١٦}{١٥}$ لا $\frac{٩}{٨}$ فيجب حينئذ تعويض الصوت فا بصوت أكثر منه ارتفاعا يتحصل على عدد ذبذباته بضرب عدد ذبذبات الصوت فا فى $\frac{٢٥}{٢٤}$ فهذا الصوت الجديد يطلق عليه اسم فا دييز ويرسم هكذا فا ♯ وهذا التعويض يجعل أيضا المسافة بين فا ♯ و صول٢ تساوى نصف مقام وكذا اذا أريد تكوين سلم قراره رى يرى أنه اذا أبقى السلم المذكور بالصورة

رى مى فا ♯ صول لا سى دو رى٢

تكون المسافة من سى الى دو أقل من المسافة اللازم أن تكون عليها ولذا يعاض الصوت دو فى هذا السلم بالصوت دو ♯

وقد وضعت بهذه الصفة أصوات أخرى تسمى بيمول فمثلا اذا أريد تكوين سلم مبتدأ من فا يرى أنه يجب تعويض الصوت سى بصوت أقل ارتفاعا منه يسمى سى بيمول وكذا اذا أريد تكوين سلم مبتدأ بالصوت سى بيمول يلزم تعويض الصوت مى بصوت أقل ارتفاعا منه يسمى مى بيمول والخ

الفصـــــــل الثـــالث

(فى السلمات العربية)

(ســــــلم الرصـــــــد)

ان أسماء أصوات السلم المذكور وأطوال الاوتار التى تولدها هى

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
متر ٠٫٩٠٠	٠٫٨٣٢	٠٫٧٦٩	٠٫٦٨٣	٠٫٦٠٧	٠٫٥٣٩	٠٫٥٠٠	

فتكون حينئذ النسب بين أطوال هذه الاوتار وطول الوتر الذى يولد الصوت رصد هى

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
١	٩/١٠	١٠٤/١٢٥	١٩٢/٢٥٠	١٧١/٢٥٠	٧٦/١٢٥	٢٧/٥٠	١/٢

وحيث اننا سنثبت فيما سيأتى ان عدد الذبذبات التى تحدثها الاوتار فى زمن واحد يكون متناسبا تناسبا عكسيا لطول هذه الاوتار فتكون المسافات بين هذه الاصوات والصوت رصد هى

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
١	١٠/٩	١٢٥/١٠٤	٢٥٠/١٩٢	٢٥٠/١٧١	١٢٥/٧٦	٥٠/٢٧	٢

واذا قسم كل من هذه الكسور على الكسر الذى قبله يتحصل على المسافة بين كل صوتين متتاليين كما هو مبين فى الجدول الآتى

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
١٠/٩	٢٢٥/٢٠٨	٢٦/٢٤	١٩٢/١٧١	٩/٨		١٥٢/١٣٥	٢٧/٢٥

فاذا قارنا هذه المسافات بمقادير المقام الكبير والمقام الصغير ونصف المقام وثلثى المقام وثلث المقام وربع المقام التى مقاديرها هى ٩/٨ و ١٠/٩ و ١٦/١٥ و ٦٧٦/٦٢٥ و ٢٦/٢٥ و ٣١/٣٠ يرى أن ٢٢٥/٢٠٨ أكبر من ٦٧٦/٦٢٥ بمقدار ١٧/١٣٠٠٠٠ وأن ٢٦/٢٤ أكبر من ٦٧٦/٦٢٥ بمقدار ٢٦/١٥٠٠٠ وأن ١٩٢/١٧١ أصغر من ٩/٨ بمقدار ٣/١٣٦٨ وأن ١٥٢/١٣٥ أكبر من ٩/٨ بمقدار ١/١٠٨٠ وأن ٢٧/٢٥ أصغر من ٦٧٦/٦٢٥ بمقدار ١/٦٢٥ وحيث ان جميع هذه الفروق أقل من ١/٨٠ يرى أنه يمكن تعويض المسافتين ١٩٢/١٧١ و ١٥٢/١٣٥ بالمسافة ٩/٨ والمسافات ٢٢٥/٢٠٨ و ٢٦/٢٤ و ٢٧/٢٥ بالمسافة ٦٧٦/٦٢٥

ومن هذا يستنتج أن المسافات المتتالية فى سلم الرصد تكون

من رصد الى دوكه ١٠/٩ مقام صغير

« دوكه « سيكه ٦٧٦/٦٢٥ ثلثى مقام

« سيكه « جركه ٦٧٦/٦٢٥ « «

« جركه « نوا ٩/٨ مقام كبير

« نوا « حسينى ٩/٨ « «

« حسينى « عراق ٩/٨ « «

« عراق « كردان ٦٧٦/٦٢٥ ثلثى مقام

أعنى أن مسافات هذا السلم مكوّنة من مقام متبوع مرتين بثلثى مقام ثم من مقامات ثلاثة متبوعة بثلثى مقام

ويمكن تحقيق ذلك التركيب بالتجربة فاننا اذا عينا عدد الذبذبات التى تقابل للصوت رصد فى الثانية الواحدة لوجدنا أنها ٢٨٠ فاذا اعتبرنا حينئذ أن سلم الرصد مكوّن كما سبق لوجدنا بالحساب أن عدد الذبذبات التى تقابل لاصواته المختلفة فى الثانية الواحدة هى

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
٢٨٠	٣١١	٣٣٦	٣٦٣	٤٠٨	٤٥٩	٥١٦	٥٥٨

وقد عين حضرة ابراهيم بك مصطفى بواسطة بنت الماء الذبذبات التى تقابل كلا من هذه الاصوات فى الثانية الواحدة فوجد

رصد	دوكه	سيكه	جركه	نوا	حسينى	عراق	كردان
٢٨٠	٣١٥	٣٣٨	٣٦١	٤٠١	٤٦٧	٥٠٥	٥٥٨

ولكن بالتأمل يرى أن هذه الاعداد المعينة بواسطة بنت الماء تختلف قليلا عن الاعداد المتحصل عليها بالحساب أى باعتبار سلم الرصد مكوّنا من أربعة مقامات وثلاثة ثلثى مقام فهذا الاختلاف يجب عدم اعتباره لان بنت الماء التى استعملها حضرة البك المومااليه لايمكن أن تعين مقادير الذبذبات الابخطأ أقل من ١٥ وذلك لان الآلة المذكورة كان قرصها المتحرك يشتمل على ١٥ ثقبا ومن المعلوم أنه لايمكن أن يعين بها الا الدورات الصحيحة فاذن يمكن اعتبار سلم الرصد المذكور مكوّنا كما ذكر من أربعة مقامات وثلاثة ثلثى مقام حيث ان الفرق بين الاعداد المستنتجة باستعمال بنت الماء و بين الاعداد المستنتجة بالحساب أقل من ١٤

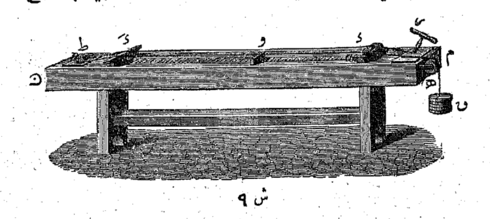
وقد اشتق من سلم الرصد جملة سلمات أخرى لا لزوم لذكرها الا أنه ينبغى ملاحظة أمر وهو أنه فى جميع السلمات المذكورة لا توجد الامسافات مساوية لمقام كبير أو مقام صغير أو ثلثى مقام أو ثلث مقام أما نصف المقام وربع المقام فلا يوجدان أصلا وزيادة على ذلك فان مجموع مسافات كل سلم من السلمات العربية يكون دائما مساويا للستة مقامات (١)

الباب الثالث

(فى اهتزاز الاوتار)

(فى الاهتزازات العرضية)

لاجل الوقوف على قوانين الاهتزازات العرضية للاوتار يستعمل جهاز يسمى بالصونومتر وهو يتركب كما فى (شكل ٩) من صندوق مستطيل من الخشب م ن مثبت بالقرب من طرفيه فرسان د و دَ منفصلان عن بعضهما بمسافة تساوى مترا ويرتكز عليهما سلكان معدنيان أحد طرفى كل منهما ثابت والطرفان الآخران أحدهما ملتف حول مفتاح ر بتدويره يمكن شد السلك أو ارخاؤه والثانى معلق به أثقال ں يمكن تغييرها وهذا السلك يمر حول بكرة هـ مثبتة قريبا من الاثقال المعلقة بطرفه ثم يوجد تحت السلكين المذكورين فرس ثالث و متحرك على مسطرة مدرجة وهذا الفرس معد لتغيير طول الجزء المتذبذب من أحد السلكين والمسطرة معدة لتعيين طول ذلك الجزء فلاجل تولد الذبذبات العرضية يكفى أن يمر على أحد هذين السلكين قوس أو أن يبعد السلك المذكور عن وضعه الطبيعى بالاصبع



ش ٩

---

(١) من أراد أن يطلع على توضيح السلمات العربية بالتفصيل فعليه أن يطلع على الرسالة التى ألفها حضرة ابراهيم بك مصطفى فى هذا الموضوع باللغة الفرنساوية وهى التى اختصرنا منها ماذكرناه بذلك الشأن

ولتذكر قوانين الاهتزازات العرضية للاوتار يكفي معرفة القانون الآتي

$$ن = \frac{1}{٢ س ل} \sqrt{\frac{ح و}{ط ك}}$$

ففي هذا القانون ن عبارة عن عدد الاهتزازات التي تحصل بالوتر في الثانية الواحدة و س نصف قطر ذلك الوتر و ل طوله و ك كثافته و و الاثقال الشادة له مبينة بالكيلوجرام و ح العجلة الناتجة من جذب الارض و ط النسبة التقريبية فيرى من ذلك القانون انه بالنسبة للتجارب التي تصنع في نقطة واحدة من سطح الارض يكون ن متعلقا بأربعة أشياء يمكن تغيير كل منها على حدته وهي س و ل و و و ك ومن ذلك تستنتج الاربعة قوانين الآتيـــــة

أولا — عدد الذبذبات التي تتولد بوترين مختلفي الطول تكون مناسبة تناسبا عكسيا لطوليهما ولاجل اثبات هذا القانون يذبذب وتر مشدود على الصونومتر بواسطة ثقل اختياري ثم ينظم الوتر الثاني بواسطة المفتاح م الى أن يصير متحد الصوت مع الوتر الاول فاذا وضع حينئذ الفرس و في وسط الوتر المذكور وذبذب أحد نصفيه وقورن الصوت الذي يولده بالصوت الذي يولده الوتر الثاني يرى أنه جوابه أي أن عدد ذبذبات الوتر القصير في الثانية الواحدة يكون ضعف عدد ذبذبات الوتر الطويل في نفس ذلك الزمن واذا وضع الفرس على بعد من نهاية السلك يساوي ثلثه أو ربعه أو الخ وذبذب ذلك الجزء يشاهد أن عدد الذبذبات التي يولدها في الثانية الواحدة يكون مساويا الى ثلاثة أمثال أو أربعة أمثال أو الخ الذبذبات التي يولدها السلك بتمامه في هذه المدة وبذلك يثبت القانون الاول

ثانيا — عدد الذبذبات التي تتولد عند تذبذب وترين طولهما واحد تكون مناسبة تناسبا عكسيا لقطريهما ولاجل اثبات هذا القانون يذبذب وتر مشدود على الصونومتر بواسطة ثقل اختياري ثم ينظم الوتر الثاني بواسطة المفتاح م الى أن يصير متحد الصوت مع الوتر الاول فيرفع حينئذ هذا الوتر ويعاض بآخر قطره يساوي نصف قطر الوتر المذكور ويشد بالاثقال التي كان مشدودا بها الوتر الذي قبله ثم يذبذب فيشاهد أن الصوت الذي يولده جواب للصوت الذي يولده الوتر المجاور له ويمكن تحقيق ذلك القانون أيضا باستعمال أوتار النسبة بين أقطارها معلومة

ثالثا — عدد الذبذبات التي يولدها وتر واحد تكون مناسبة للجذور التربيعية للاثقال الشادة له ولاجل اثبات هذا القانون يعلق في الوتر ط هـ ثقل و ثم ينظم الوتر الثاني بواسطة المفتاح م الى أن يصير هو والوتر الاول متحدي الصوت ثم يعاض الثقل و بثقل يزيد عنه أربع مرات

فيتحصل عند ذلك على صوت هو جواب الصوت الاول واذا كان الثقل الذى يعاض به الثقل ن يساوى تسعة أمثاله يشاهد أن الصوت الذى يولده السلك عند ذلك يقابل لعدد من الذبذبات يساوى ثلاثة أمثال عدد الذبذبات التى يولدها الوتر المجاور له

رابعا — عدد الذبذبات التى تولدها الاوتار المصنوعة من مواد مختلفة يكون مناسبا بالعكس الجذور التربيعية لكثافة هذه المواد

ولاجل تحقيق هذا القانون يؤخذ وتران قطرهما واحد ومن مادتين مختلفتين كالنحاس والفضة مثلا ثم يعلق فى طرفيهما ثقلان متساويان ويعين الصوتان اللذان يحدثان عند تذبذب كل منهما ثم عدد الذبذبات التى تقابل كلا من هذين الصوتين فيرى أن هذين العددين مناسبان لعكس الجذرين التربيعيين لكثافة النحاس والفضة

(فى عقد الاهتزازات وبطونها)

اذا فرض وتر ا ب (شكل ١٠) مشدودا على الصونومتر ومر رقوس على جزئه المتوسط يرى أن الانتفاخ الظاهرى الذى يحصل فيه يدل على أن جميع أجزائه تتذبذب ويمكن بيان ذلك أيضا بوضع قصاصات

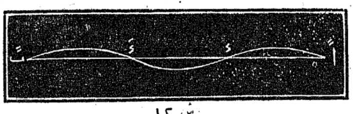
س ١٠

صغيرة من الورق مثنية على نفسها فى النقط المختلفة من الوتر المذكور فيرى أن جميعها تنقلب من عليه بمجرد تذبذبه والصوت الذى يتحصل عليه عند ذلك يسمى بالصوت الاساسى للوتر أما اذا ضغط ضغطا خفيفا بواسطة الاصبع فى النقطة مَ التى هى منتصف الوتر (شكل ١١) وهز أحد نصفيه أَ مَ بواسطة قوس فانه يتحصل على صوت هو جواب الصوت الاساسى أى يقابل لعدد من الذبذبات فى الثانية

ش ١١

الواحدة يساوى ضعف عدد الذبذبات التى يقابل لها الصوت الأساسى فى ذلك الزمن ولو تأملنا لوجدنا النصف الثانى مَ بَ الذى لم يؤثر عليه بالقوس يتذبذب أيضا على حدته ويعرف ذلك من الانتفاخ الظاهرى الذى يحصل فيه ومن انقلاب قطع الورق التى توضع عليه فينتج من ذلك حينئذ أن النصفين اللذين ينقسم اليهما الوتر يتذبذب كل منهما على حدته ويولد الصوت

الخاص بطوله كذا اذا وضع الاصبع فى نقطة ى (شكل ١٢) موجودة على بعد من نهاية الوتر أً يساوى ثلث طوله وأثر بالقوس على نقطة من نقط الجزء أً ى شوهد أن الصوت الذى يتولد يكون مقابلا



ش ١٢

لعدد من الذبذبات فى الثانية الواحدة يساوى ثلاثة أمثال الذبذبات التى يقابل لها الصوت الاساسى فى ذلك الزمن ويشاهد عند ذلك ان نقطة ىَ التى هى نهاية الثلث الثانى من الوتر تبقى ثابتة كالنقطة ى وذلك لانه اذا وضعت عليها قطعة من الورق فانها تبقى ثابتة أما اذا وضعت قطع الورق بين بً و ىَ أو بين ىَ و ى فيرى أنها تنقلب عند ذبذبة الجزء أً ى فينتج من ذلك حينئذ أن الوتر ينقسم عند ذلك الى ثلاثة أثلاث كل منها يتذبذب على حدته ويولد الصوت الخاص بطوله

وعلى العموم فانه يتحصل على نتائج كالسابقة بتقسيم الوتر الى أجزاء متداخلة فى طوله فالنقط التى تحدد الاجزاء التى تتذبذب يقال لها عقد ونقط منتصف هذه الاجزاء التى يكون فيها التذبذب فى نهايته العظمى يقال لها بطون

(فى الاهتزازات الطولية)

يمكن حصول اهتزاز الاوتار فى اتجاه طولها وكيفية ذلك أن تدلك طوليا بقطعة من الجوخ عليها قليل من مسحوق القلفونيا والاهتزازات الطولية للاوتار منقادة الى قوانين الاهتزازات العرضية لها لكنها تكون سريعة وبذلك تحدث أصواتا حادة جدا

الكلام على الضـــــوء

الباب الاول

(فى انتشار الضـــوء)

(تقسيم الاجسام الى مضيئة وغير مضيئة)

تنقسم الاجسام من حيث الاضاءة وعدمها الى قسمين مضيئة وغير مضيئة

فالمضيئة وتسمى بالينابيع الضوئيـة هى التى ينتشر منها الضوء ويمكن مشاهدتها بدون واسطة كالشمس والنجوم والمصابيح

وغير المضيئة هى التى لا يمكن مشاهدتها الا بعد انارتها بجسم مضيء وهى أقسام شفافة ونصف شفافة ومعتمة . فالشفافة هى التى ينفذ منها الضوء فيرى ما خلفها كالهواء والماء النقى والزجاج . والنصف شفافة هى التى ينفذ منها بعض الضوء ولا يشاهد من خلفها ألوان المرئيات ولا أشكالها ولا أبعادها كالورق المطلى بالزيت . والمعتمة هى التى لا ينفذ منها الضوء أصلا كالخشب والفلزات وبما أنه لا يوجد فرق بين الضوء المنتشر مباشرة من ينبوع ضوئى والذى ترده الينا الاجسام المضاءة فتسمى عادة جميع الاجسام التى يمكن مشاهدتها سواء كانت مضيئة من نفسها أو بتأثير ينبوع ضوئى خارجى بالاجسام المضيئة

(نظريتا الانتشار والتماوج)

أوضح العلماء كيفية تأثير الضوء على أعيننا فى نظريتين نظرية الانتشار ونظرية التماوج ٬ أما نظرية الانتشار التى وضعها (نيتون) فهى ان الاجسام المضيئة ينتشر منها فى جميع الجهات بغاية السرعة سيال لطيف يخترق الاجسام الشفافة ويصل الى باطن العين فيحدث فيها تنبيها مخصوصا به تدرك تلك الاجسام

وأما نظرية التماوج التى وضعها (ديكارت) فهى ان الاجسام المضيئة يحصل فيها اهتزازات سريعة تنتقل الى العين تدريجيا بواسطة سيال لطيف مرن منتشر فى جميع الكون بل وفى الاخلية التى بين جزئيات الاجسام يسمى ايتيرا ولا يشتبه علينا هذا السيال بالهواء

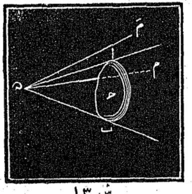
فانا نرى الكواكب وهي بمعزل عنه وعلى هذه النظرية يظهر تشبيه تولد الضوء وانتشاره في الاثير بتولد الصوت وانتشاره في الهواء وعليها جرى معظم الطبيعيين حيث وجدت بواسطتها نتائج كانت مجهولة من قبل وحققت بعد ايجادها بالتجربة بخلاف الاولى

(انتشار الضوء على خط مستقيم والاشعة الضوئية)

ان الضوء ينتشر من نقطة الى أخرى في وسط متجانس الاجزاء تبعاً للخط المستقيم الواصل بين هاتين النقطتين وبيانه اننا اذا نظرنا اشعة منيرة من ثقب صغير في حجاب ثم وضعنا أصبعنا على الخط المستقيم الواصل من ذلك الثقب الى لهب الشمعة حجب ذلك الاصبع ضوءها فاذا أبعدناه عن ذلك الخط رأينا الشمعة ثانيا وبذلك يعلم أن الخط الذي يتبعه الضوء حتى يصل الى فتحة الحجاب يكون مستقيما وحيث انه يمكن رؤية الشمعة مهما كان وضع العين حولها فينتج ان كل نقطة من اللهب يخرج منها خطوط ضوئية مستقيمة في جميع الجهات تسمى بالاشعة الضوئية

(الظـــــل)

ان الاجسام المعتمة اذا صادفها الضوء في احدى جهاتها امتنعت نفوذه منها ويكون ماوراءها ذا ظلمة تمتد الى مسافة ما وهذه الظلمة تسمى بظل تلك الاجسام ويمكن تعيين حدوده بطريقة هندسية بسيطة وهي أن نفرض أولا لاجل السهولة ان الجسم المضيء عبارة عن نقطة ولتكن ى (شكل ١٣) فاذا رسم من تلك النقطة شعاع ى ا مماس للجسم المعتم ح وفرض أن هذا الشعاع يتحرك حوله فانه يرسم سطحا مخروطيا ى اب رأسه ى وموجودا داخله الجسم ح فاذا أخذت نقطة م داخل ذلك المخروط فيما وراء جهة الضوء فالشعاع المنتشر من ى في الاتجاه ى م يمنعه الجسم ح من الوصول الى نقطة م أما اذا أخذت نقطة مَ خارج ذلك السطح فيصل اليها الشعاع ى مَ وبذلك يكون سطح المخروط هو المحدد للظل

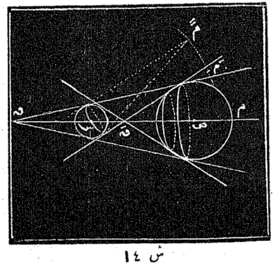


ش ١٣

(الغـــبش)

اذا فرض أن الجسم المنير ذو أبعاد كما في أغلب الينابيع فيتكون حول ظله خيال ظلي يأخذ في الضعف حتى ينتهي وهذا الخيال هو المسمى بالغبش

ولبيان ذلك نفرض لسهولة الفهم أن الجسم المضيء كروي والمعتم كذلك ولتكن س (شكل ١٤) الكرة المضيئة و ص الكرة المعتمة فاذا رسم المخروط المماس لهاتين الكرتين خارجا فكل نقطة مثل م موجودة داخل ذلك المخروط على يمين الكرة المعتمة لا يصل اليها أدنى شعاع من الكرة المضيئة وذلك لان كل خط مار بتلك النقطة و بأي نقطة أخرى من الكرة المضيئة يقابل الكرة المعتمة فينتج من ذلك أن جميع النقط الموجودة داخل ذلك المخروط على يمين الجسم ص تكون في الظل واذا رسم المخروط المماس للكرتين



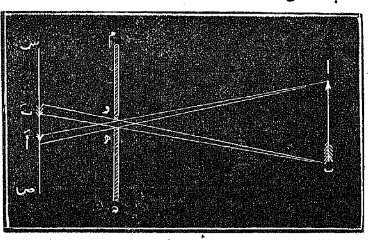
ش ١٤

داخلا وفرضت نقطتان مَ و مً على بعدين متساويين من الكرة س احداهما مً خارج ذلك المخروط والاخرى بينه و بين المخروط المماس للكرتين خارجا ورسم من نقطة مً مخروط مماس للكرة س يرى أن تلك النقطة تصل اليها جميع الاشعة المنتشرة من الجزء المقابل لها من الكرة المضيئة واذا رسم من نقطة مَ أيضا مخروط مماس لتلك الكرة يرى أنه لا يصل الى تلك النقطة الا بعض الاشعة المنتشرة من الجزء الموجود أمامها وأما البعض الآخر فتمنعه الكرة المعتمة من الوصول اليها ثم ان مقدار الضوء الذي يصل ينقص كلما اقربت النقطة مَ من المخروط الخارج فينتج من ذلك أن الجزء المحصور بين المخروطين على يمين الكرة المعتمة يكون أقل انارة من الجزء الموجود خارج المخروط الداخلي وكمية الضوء التي تقع عليه تأخذ في التناقص كلما اقربت من الجزء الموجود فيه الظل وهذا الجزء هو ما يسمى بالغبش ويمكن مشاهدة الظل والغبش داخل أودة مظلمة بوضع شمعة خلف قرص من الورق المقوى فيرى خلف ذلك القرص على الحائط الموازية له ظل وغبش في غاية من الوضوح

(تكوين الصور داخل الاودة المعتمة)

اذا وجد الانسان داخل أودة شبابيكها وأبوابها مغلقة غلقا تاما بحيث لا يدخل فيها الضوء الا من فتحة صغيرة مصنوعة في أحد الشبابيك ووضع امام تلك الفتحة حجابا شاهد عليه صور المرئيات الموجودة أمام الفتحة من الخارج

ولبيان ذلك نفرض أن ا ب (شكل ١٥) جسم مضىء موجود خارج الاودة و م د قطاع الشباك الذى فيه الفتحة و س ص حجاب موجود داخل الاودة موازٍ للفتحة فيرى من الرسم ان كل نقطة من الجسم المضىء ا ب ترسل داخل الاودة مخروطاً من الاشعة الضوئية رأسه تلك النقطة وأحرفه متكئة على محيط الفتحة وبذلك ينير كل من هذه المخاريط جزأ من الحجاب شكله مشابه لشكل الفتحة



ش ١٥

الا أنه اذا كانت الفتحة صغيرة جدا والجسم المضىء بعيداً عنها فتكون فتحات هذه المخاريط صغيرة جدا وتؤول حينئذ الاسطح المنارة من الحجاب الى نقط ضوئية مجموعها يكون صورة اَ بَ مقلوبة بالنسبة للجسم ا ب واذا أبعد الحجاب عن الفتحة شيأ فشيأ يشاهد أن الصورة اَ بَ تأخذ فى الازدياد عقادير مناسبة لازدياد البعد

وبهذه الكيفية أيضا تتكوّن صور مستديرة للشمس فى ظل الاشجار بمرور الاشعة الآتية منها من المسافات الصغيرة الموجودة بين أوراقها الا أن هذه الصور تكون دائماً فى بلادنا قطاعات ناقصة بسبب كون الاشعة الشمسية لا تكون أبدا عمودية على سطح الارض واذا أريد الحصول على صور مستديرة يكفى استقبال ظل شجرة على قطعة من الورق موضوعة وضعاً عمودياً على اتجاه الاشعة الشمسية وأخيرا فعندما تكون الشمس مكسوفة كسوفاً جزئياً تكون صورها على شكل الهلال

(فى سرعة انتشار الضوء)

أول من عين سرعة الضوء فى الهواء هو (رومير) الفلكى الذى استنتج بعد اجراء عدة تجارب فلكية أن الضوء يقطع فى الثانية الواحدة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر وقد أيد ذلك بعده كل من (فيزو) و (فوكو) بتجارب أخرى مخالفة بالكلية لتجربته فينتج من ذلك حينئذ أن الضوء يقطع مسافة تساوى محيط الكرة الارضية فى أقل من $\frac{1}{7}$ ثانية

الباب الثاني

(في مقارنة الشدّة النسبية لضوءين)

(في مقارنة شدّة استضاءة جسم بينبوع ضوئي موضوع على ابعاد مختلفة منه)

ان كمية الضوء التي تقع عمودية على سطح واحد من ينبوع ضوئي موضوع على ابعاد مختلفة منه تكون مناسبة لعكس مربع الابعاد ويحقق ذلك بالاثبات الآتي

اذا فرضت نقطة منيرة داخل كرة نصف قطرها يساوي مترا فيقع على سطحها الداخلي كل الاشعة المنتشرة من هذه النقطة فاذا عوضت تلك الكرة بكرة أخرى نصف قطرها يساوي مترين وقع على سطحها أيضا كل الاشعة المنتشرة من النقطة الضوئية وبما أن سطح الكرة الثانية أكبر من سطح الكرة الاولى أربع مرات فتكون اضاءة وحدة السطوح فيها أي كمية الضوء التي تقع عليها أقل من اضاءة وحدة السطوح في الكرة الاولى أربع مرات واذا عوضت الكرة الثانية باخرى نصف قطرها ثلاثة أمتار يرى أن اضاءة وحدة السطوح في تلك الحالة تكون أقل من اضاءتها في الحالة الاولى تسع مرات أعني أن كمية الضوء التي تقع على سطح واحد صغير أي اضاءته تكون مناسبة لعكس مربع بعده عن الينبوع الضوئي

(في تعريف شـــدّة الضوء)

شدّة ضوء أي منبع ضوئي هي عبارة عن الانارة التي يحدثها على سطح صغير بعده عنه يساوي الوحـــدة

ويقال ان شدّة منبعين ضوئيين واحدة اذا أنارا بكيفية واحدة جسما صغيرا موجودا على بعد منهما يساوي الوحدة ويقال أيضا ان شدّة ينبوع ضوئي تساوي ضعف شدّة ينبوع ضوئي آخر أو ثلاثة أمثالها اذا أنار ذلك الينبوع سطحا صغيرا موضوعا على بعد عنه يساوي الوحدة كما ينيره ينبوعان أو ثلاثة مساوية للينبوع الثاني وعلى بعد عنه يساوي الوحدة أيضا

(في مقارنة شدّة الينابيع الضوئية)

ان الطرق المستعملة لمقارنة شدّة الينابيع الضوئية بعضها مؤسسة على النظرية الآتية وهي اذا أضاء منبعان سطحا موضوعا على بعدين د و دَ منهما اضاءة واحدة فتكون النسبة

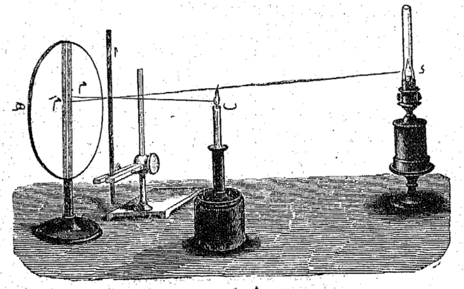
بين شدّتيهما كالنسبة بين مربعى بعديهما عن ذلك السطح أعنى أنه لو رمز للشدّتين بحرفى س و سَ يكون $\frac{س}{سَ} = \frac{د^{2}}{دَ^{2}}$

لاجل البرهان على ذلك يقال ان شدّة الينبوع الاول س عبارة عن الاضاءة التى يحدثها على سطح معين موضوع على بعد منه مساو الى الوحدة وبذلك تكون كمية الضوء التى تقع على ذلك السطح من المنبع وهو على بعد يساوى د عبارة عن $\frac{س}{د^{2}}$ كذا ان كمية الضوء التى تقع على ذلك السطح من المنبع الثانى وهو على بعد يساوى دَ تكون عبارة عن $\frac{سَ}{دَ^{2}}$ وبما أن هذين المنبعين يضيئان اضاءة واحدة السطح الموضوع على البعدين د و دَ منهما يكون

$$\frac{س}{د^{2}} = \frac{سَ}{دَ^{2}} \quad \text{أو} \quad \frac{س}{سَ} = \frac{د^{2}}{دَ^{2}} \quad \text{وهو المطلوب}$$

(فوتومتر رومفور)

قد أسست على الخاصية المتقدمة آلات تسمى بالفوتومترات تصلح لمقارنة شدّة الينابيع الضوئية وأبسطها هو فوتومتر رومفور وهو مركب من قرص من ورق المقوى هـ (شكل ١٦) موضوع أمامه قضيب رأسى من الخشب ا ويوضع خلف ذلك القضيب الينبوعان ويغير وضعهما الى أن تصير اضاءة خياليهما م و مَ واحدة فعند ذلك تقاس ابعاد المنبعين عن القرص فالنسبة بين شدّتى هذين المنبعين تكون كالنسبة بين مربعى البعدين



ش ١٦

الباب الثالث

(فى انعكاس الضوء)

الفصل الاول

(فى الانعكاس على الاسطح المستوية)

(فى الانعكاس المنتظم)

اذا قابل شعاع ضوئى سطحا مصقولا من جسم معتم أو سطح سائل معتم كالزئبق فانه ينعكس فى اتجاه معين لا يحول عنه أى أنه متى علم اتجاه الشعاع الساقط فانه يمكن ايجاد الشعاع المنعكس ولبيان ذلك نفرض أن م ن (شكل ١٧) مستو مصقول و س ا شعاع ساقط عليه و هـ ا الشعاع المنعكس المقابل له فالمستوى المكون من الشعاع الساقط س ا والعمود ا ى المقام من نقطة ا يسمى مستوى السقوط والزاوية س ا ى تسمى زاوية السقوط والزاوية هـ ا ى تسمى زاوية الانعكاس . والقوانين التى يرتبط بها الشعاع المنعكس بالشعاع الساقط هى

ش ١٧

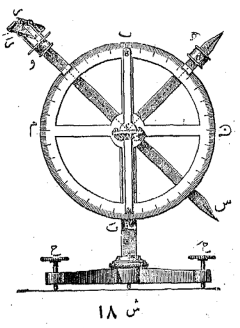
أولا ـ ان الشعاع المنعكس يبقى فى مستوى السقوط

ثانيا ـ ان زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط

ويثبت هذا القانونان بواسطة جهاز (شكل ١٨) مكوّن من دائرة رأسية مدرجة ن ق ن َ م موجود فى مركزها مرآة ى ومن قضيبين أو مسطرتين يدوران حول المركز وكل منهما حامل لانبوبة صغيرة قناتها ضيقة جدا

وكيفية العمل أن تنفذ حزمة ضوئية متوازية من محور الانبوبة و بواسطة المرآة م م َ ثم توفق عين المبصر على الفتحة الظاهرة من الانبوبة الثانية هـ ويحرك القضيب الحامل لها الى أن تقع الاشعة المنعكسة على المرآة ى عليها فيرى عند ذلك أن القوس هـ ب يساوى القوس ب و واذن فقد ثبت القانون الثانى

ويحقق القانون الاول من هذا الوضع أيضا لان محورى الانبوبتين هـ و و اللذين تمر منهما الاشعة الساقطة والاشعة المنعكسة يكونان فى مستو واحد رأسى عمودى على سطح المرآة



ش ١٨

(المـــــرايات المســــتوية)

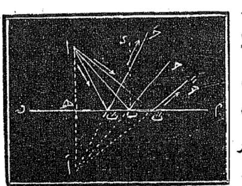
المرايات المستوية هى أسطح مستوية مصقولة صقلا تاما وكان الاقدمون يصنعونها من المعادن الا أنها كانت تتغطى بمرور الزمن عليها بطبقة من الصدا ولذا فانها تصنع الآن فى أغلب البلاد من ألواح من زجاج مغطى أحد أوجهها بطبقة رقيقة من القصدير أو الفضـــة فالاشعة الضوئية التى تسقط على المرآة تنعكس على تلك الطبقة بعد أن تنفذ من الزجاج

(تكوين صورة نقطة فى المرايات المستوية)

اذا نظر الانسان فى مرآة مستوية ظهر له خلفها الاجسام المضيئة الموجودة أمامها وذلك ليس الا نتيجة الانعكاس المنتظم للاشعة الضوئية التى تسقط عليها من تلك الاجسام

ولبيان ذلك نفرض نقطة ضوئية ا موجودة أمام مرآة مستوية ونفرض أن م ن هو خط تقاطع مستوى هذه المرآة مع المستوى العمودى على مستويها او المار بالنقطة الضوئية فاذا فرضنا شعاعا ضوئيا ا ب فى ذلك المستوى (شكل ١٩) فانه ينعكس فيه ويأخذ الاتجاه ب ح بحيث تكون الزاوية ا ب ى مساوية الى الزاوية ح ب ى فلو أنزلنا من نقطة ا عمودا على سطح المرآة ومددنا ح ب على استقامته الى أن يقابل ذلك العمود فى نقطة اَ

فيكون المثلثان ا ب هـ و اَ ب هـ القائما الزاوية متساويين بما أن فيهما الضلع هـ ب
مشترك والزاويتين ا ب هـ و اَ ب هـ
متساويتان لان احداهما متممة لزاوية السقوط
والاخرى لزاوية الانعكاس فينتج حينئذ من
تساوي هذين المثلثين أن الضلع اهـ يساوي
الضلع اَهـ أعني أن الشعاع المنعكس يمر
امتداده بالنقطة اَ المماثلة للنقطة ا بالنسبة
لسطح المرآة وبما أن الشعاع ا ب هو شعاع



ش ١٩

حيثما اتفق فيرى أن جميع الاشعة المنتشرة من النقطة ا وتقابل سطح المرآة تنعكس على
ذلك السطح بحيث ان امتداداتها تمر بالنقطة اَ المماثلة لها بالنسبة للسطح المذكور فاذا وقع
حينئذ على العين حزمة من تلك الاشعة تؤثر عليها كما اذا كانت منتشرة من النقطة اَ وبذلك
يتخيل لها وجود نقطة منيرة في تلك النقطة وتسمى نقطة اَ بصورة النقطة ا

(تكوين صور الاجسام المضيئة في المرايات المستوية)

بناء على ما تقدم يرى أنه اذا وجد مستقيم مضيء ا ب (شكل ٢٠) أمام مرآة مستوية م ن
فتتكون له صورة اَ بَ مماثلة له بالنسبة
للسطح العاكس من تلك المرآة واذا أريد
تحديد الاشعة التي بعد انعكاسها تحدث
على العين الموجودة في وضع هـ و مأخوذ
بالاختيار تأثيرا به تبصر صورة النقطة ا
مثلا يكفي توصيل اَ الى محيط الحدقة
وتعيين منحنى تقاطع سطح المرآة مع
أحرف المخروط الناتج من ذلك ثم توصل
نقط ذلك المنحنى الى نقطة ا فالاشعة

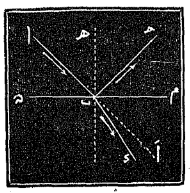
ش ٢٠

المذكورة تكون هي المحصورة في المخروط ا حـ ء وبالكيفية عينها يوجد أن الاشعة التي بعد
انعكاسها تولد صورة النقطة ب هي الموجودة في المخروط ب حَ ءَ
واذا كان الجسم المضيء شكله أيا ما كان فتتكون له أيضا صورة مماثلة له بالنسبة لكل مستو
عاكس يوضع أمامه

تنبيه - جميع الصور التى تتكوّن فى المرايات المستوية ليس لها وجود بمعنى ان النقط التى يظهر للعين وجود تلك الصور فيها لا يوجد فيها ضوء أصلا ولذا تسمى بالصور التقديرية

(انعكاس الاشعة الضوئية على أسطح الاجسام الشفافة)

ان الانعكاس المنتظم الذى سبق الكلام عليه يحدث أيضا على أسطح الاجسام الشفافة كالماء والزجاج الا أنه لا يكون الا جزئيا فاذا افرض مثلا أن شعاعا ضوئيا ا ب (شكل ٢١) قابل سطح جسم شفاف م ن فان جزأ منه ينعكس فى الاتجاه حب والجزء الآخر يدخل فى باطن الجسم الشفاف ويزوغ عن اتجاهه الاصلى أى أنه عوضا عن أن يستمر على الانتشار فى اتجاهه الاصلى ا اَ يأخذ اتجاها آخر ب ى وهذه الظاهرة هى ما يعبر عنها بانكسار الاشعة الضوئية وسنتكلم عليها فيما سيأتى



ش ٢١

ومقدار الضوء الذى ينعكس على أسطح الاجسام الشفافة يزداد بازدياد زاوية السقوط ويحقق ذلك باستقبال داخل أودة مظلمة على لوحة من الزجاج حزمة من الاشعة الضوئية فاذا كانت اللوحة عمودية على الاشعة الساقطة يشاهد أن الحزمة الضوئيـة تنفذ منها تقريبا بتمامها ولا ينعكس منها الا جزء ضعيف جدا بخلاف ما اذا كانت زاوية السقوط تقرب من 90° فان الحزمة تنعكس تقريبا بتمامها ولا ينفذ منها من اللوحة الا جزء ضعيف

(فى الانعكاس الغير منتظم)

اذا أدخلت حزمة من الاشعة الضوئية داخل أودة مظلمة واستقبلت على سطح مرآة مستوية وكان شخص موجود داخل الاودة فلا يصل اليه الضوء الا اذا كان موجودا على اتجاه الاشعة المنعكسة على المرآة أما اذا استقبلت الحزمة المذكورة على حائط أبيض فمهما كان وضع الشخص فى الاودة فانه يرى الجزء المنار من الحائط وذلك يدل على ان الجزء المذكور يعكس الاشعة التى تسقط عليه فى جميع الجهات ويعبر عن ذلك الانعكاس بالانعكاس الغير منتظم

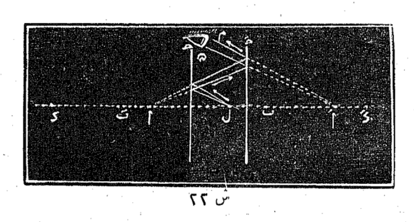
ويمكن توضيح ظاهرة الانعكاس الغير منتظم باعتبار كل خشونة من الاجسام الغير مصقولة مكوّنة من أسطح عديدة مستوية اتجاهاتها مختلفة وتعكس حينئذ الاشعة التى تسقط عليها فى جميع الجهات

والانعكاس الغير منتظم هو الذى يقصر نا أهلا لرؤية الاجسام التى تحيط بنا مدة النهار حتى التى لا تسقط عليها الاشعة الشمسية مباشرة وذلك لان الاجسام التى توجد فى الشمس تعكس مقدارا من الاشعة التى تسقط عليها الى الاجسام الاخر وتنيرها إنارة كافية بها يمكننا مشاهدتها

(تكوين الصور فى مرآتين مستويتين ومتوازيتين)

اذا كانت نقطة ضوئية موضوعة بين مرآتين مستويتين ومتوازيتين تكونت عنها صور عديدة شدتها آخذة فى الضعف وموضوعة على خط عمودى على سطحى المرآتين ومار بالنقطة ويوضح ذلك بما هو مرسوم فى (شكل ٢٢) ففى ل نقطة ضوئية موضوعة بين مرآتين مستويتين ومتوازيتين ح و حَ فالاشعة التى تسقط على المرآة ح تتكون عنها صورة فى ا والتى تسقط على المرآة حَ تتكون عنها صورة فى ب لكن هذه الاشعة الاخيرة بعد انعكاسها على المرآة حَ تسقط على المرآة ح كما اذا كانت آتية من نقطة ضوئية موجودة فى ب فيتكون عنها حينئذ صورة بَ مماثلة الى ب بالنسبة للمرآة ح كذا ان الاشعة التى بعد انعكاسها على المرآة ح تكون الصورة ا تسقط على المرآة حَ كما اذا كانت آتية من نقطة ضوئية موجودة فى ا فيتكون عنها حينئذ صورة فى اَ مماثلة الى ا بالنسبة للمرآة حَ وهكذا

وبالتأمل فى الشكل يرى سير الاشعة التى تحدث على العين تأثيرا به ترى نقطة ضوئية فى اَ

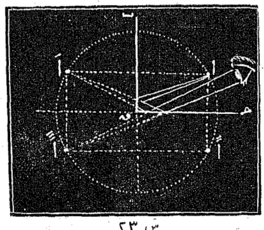


ش ٢٢

(المـــــرايات الزاوية)

اذا كانت نقطة ضوئية ا موجودة بين مرآتين مكونتين مع بعضهما زاوية قائمة فيتكون لها ثلاث صور اَ و اً و اً كما ذلك مبين فى (شكل ٢٣) واذا تغير مقدار الزاوية

المكوّنة من المرآتين فعدد الصور يتغير ويزداد كلما صغرت الزاوية فمثلا اذا كانت الزاوية تساوى ٦٠° فعدد الصور يكون مساويا الى خمسة



س ٢٣

تنبيه - الصور التى تتكوّن فى المرايات الزاوية تكون كلها على محيط دائرة واحدة مركزه على حرف الزاوية الزوجية المكوّنة من المرآتين ومار بالنقطة الضوئية ثم ان الصور التى تتكوّن لا تكون جميعها واضحة الا اذا كان ضعف زاوية المرآتين محصورا مرات صحيحة فى ٣٦٠°

الفصـــــل الثانى

(فى المرايات المنحنية)

(فى الانعكاس على الاسطح المنحنية)

اعلم أنه يمكن اعتبار كل سطح منحن متحدا فى كل نقطة من نقطه مع المستوى المماس له فى تلك النقطة وبذلك يرى أنه اذا سقط شعاع ضوئى على سطح مرآة منحنية فانه ينعكس عليها كما ينعكس على المستوى المماس لها فى نقطة السقوط

ولا نذكر هنا الا خواص المرايات الكروية لكثرة استعمالها

(فى المرايات الكروية)

المرايات الكروية هى أجزاء من أسطح كرات مصقولة من الداخل أو من الخارج ويقال لها مقعرة اذا كان سطحها الداخلى هو المصقول ومحدبة اذا كان العكس

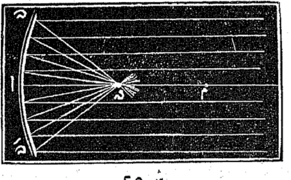
(فى المـــــرايات المقـــــعرة)

اذا فرض أن م هى مركز الكرة التى أخذت منها المرآة (شكل ٢٤) و ب و حـ د قاعدتها أى مستوى الدائرة الصغيرة المكوّنة لحافتها فالمستقيم م ل المرسوم من مركز الكرة عموديا على ذلك المستوى يسمى بالمحور الاصلى للمرآة والنقطة ل التى يقابل فيها ذلك المستقيم سطح المرآة بمركز شكلها والنقطة م تسمى بمركز انحنائها والزاوية ب م حـ التى هى الزاوية الراسمة للمخروط الذى رأسه م وقاعدته قاعدة المرآة تسمى بفتحة المرآة ولا تكون خواص المرايات الكروية التى سنذكرها فيما سيأتى صحيحة الا اذا كانت فتحاتها صغيرة جدا بحيث يقرب سطحها كثيرا من السطح المستوى

ش ٢٤

(فى البورة الاصليـــــة)

اذا استقبلت حزمة من الاشعة المتوازية (شكل ٢٥) على مرآة مقعرة د دَ ولتكن الاشعة الآتية الينا من نجمة مثلا بحيث تكون موازية لمحورها الاصلى يشاهد أنها بعد أن تنعكس عليها تمر جميعها بنقطة ن موجودة على المحور الاصلى وفى منتصف الخط م ا الذى هو نصف قطر انحناء المرآة والدليل على ذلك أنه اذا أخذ لوح صغير من الزجاج النصف شفاف وحرك على المحور الاصلى لمرآة مقعرة بعد استقبال

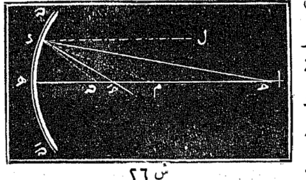


ش ٢٥

الاشعة الآتية من نجمة عليها فيشاهد أن الاشعة المنعكسة تكون على ذلك اللوح عند ما يكون فى منتصف الخط م ا نقطة مضيئة هى نقطة تقاطع الاشعة المذكورة وقد سميت تلك النقطة بالبورة الاصلية للمرآة وبعدها عنها بالبعد البورى لها ومن الواضح انه كلما كان نصف قطر انحناء مرآة كبيرا كان بعدها البورى كبيرا أيضا

(فى صورة نقطة موجودة على المحور الاصلى)

اذا أخذت نقطة ضوئية ح داخل أودة مظلمة أمام مرآة مقعرة وعلى محورها الاصلى فجميع الاشعة المنتشرة من تلك النقطة بعد أن تنعكس على سطح المرآة تمر بنقطة واحدة حَ على محورها الاصلى أيضا كما هو مبين فى (شكل ٢٦) والدليل على ذلك أنه اذا أخذ حجاب صغير وحرك على المحور الاصلى يشاهد أن الاشعة المنعكسة تكون عليه عند مايمر بالنقطة حَ نقطة مضيئة هى نقطة تقاطع الاشعة المنعكسة ولاجل ايجاد النقطة حَ عملا يكفى رسم أحد الاشعة المنتشرة من النقطة ح وليكن ح ى



ش ٢٦

ورسم اتجاهه بعد أن ينعكس على سطح المرآة وكيفية ذلك أن يرسم من نقطة ى مستقيم يصنع مع العمود م ى زاوية م ى حَ = م ى ح فنقطة حَ التى يقابل فيها الشعاع المذكور المحور الاصلى م هـ تكون هى النقطة المطلوبة

(تنبيـــــهات)

الاول — بما أن الشعاع ح ى الذى هو أحد الاشعة الساقطة على سطح المرآة من النقطة ح يصنع مع العمود م ى زاوية سقوط أصغر من الزاوية ل ى م التى هى زاوية سقوط الشعاع ل ى الموازى للمحور الاصلى فتكون زاوية الانعكاس المقابلة للشعاع ح ى أصغر من زاوية الانعكاس المقابلة للشعاع ل ى ومن ذلك ينتج أن النقطة حَ التى يقابل فيها الشعاع المنعكس ى حَ المحور الاصلى تكون بين مركز انحناء المرآة م وبورتها ں وهذا يتحقق بالتجربة

الثانى — النقطتان ح و حَ مرتبطتان ببعضهما بمعنى أنه اذا نقلت النقطة الضوئية من ح الى حَ فان صورتها تنتقل من حَ الى ح وبهذا السبب سميت النقطة حَ بالبورة المرتبطة للنقطة ح وبالعكس

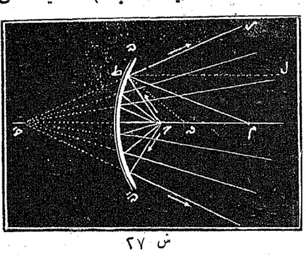
الثالث — بالتأمل فى (شكل ٢٦) يرى أنه اذا قربت النقطة ح من المركز أو بعدت عنه فان صورتها تقرب منه أو تبعد عنه أيضا وذلك لان زوايا الانكسار تصغر أو تكبر تبعا لزوايا السقــــوط

الرابع – اذا كانت النقطة الضوئية فى مركز المرآة فتكون الاشعة الساقطة منها عمودية على السطح العاكس وبذلك تنعكس على اتجاهاتها وتكون الصورة التى تكونها منطبقة على النقطة الضوئية

الخامس – عندما تكون النقطة الضوئية بين المركز والبورة تتكون صورتها خارج المركز وتبعد عنه كلما اقربت النقطة الضوئية من البورة

السادس – اذا كانت النقطة الضوئية فى البورة تكون الاشعة المنعكسة موازية للمحور الاصلى أى أنها لا تتقابل وبذلك فلا يكون للنقطة الضوئية صورة الا أنه يقال أحيانا ان صورة النقطة الموجودة فى بورة مرآة مقعرة تتكون على بعد غير نهائى منها

السابع – اذا فرضنا الآن أن النقطة الضوئية موجودة بين المرآة وبورتها الاصلية فكل شعاع يسقط على المرآة من تلك النقطة كالشعاع ح ط (شكل ٢٧) يصنع مع العمود م ط زاوية سقوط ح ط م أكبر من الزاوية ں ط م وبذلك تكون زاوية الانعكاس ر ط م المقابلة للشعاع الساقط ح ط أكبر من الزاوية ل ط م المقابلة للشعاع الساقط ں ط



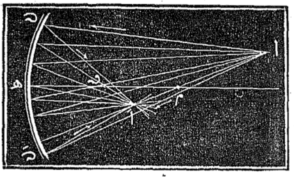
ش ٢٧

ومن هنا يستنتج أن الشعاع المنعكس ط ر لا يقابل المحور الاصلى للمرآة الا اذا مدّ على استقامته من خلفها فاذا فرض أن نقطة حَ هى النقطة التى يقابل فيها امتداد ذلك الشعاع امتداد المحور الاصلى فيشاهد من التجربة أن جميع الاشعة الأخر المنتشرة من النقطة ح تمر جميع امتداداتها بعد أن تنعكس على سطح المرآة بالنقطة حَ وتسمى أيضا النقطة حَ بالبورة المرتبطة للنقطة ح

وبما أن الاشعة المنعكسة لا تمر حقيقة بالنقطة حَ فيرى أنه لا يمكن تحقيق وجود تلك النقطة باستقبالها على حجاب الا أنه اذا كانت عين شخص موجودة على سير الاشعة المنعكسة فهذه الاشعة تؤثر عليها كما اذا كانت آتية من نقطة ضوئية موجودة فى حَ فيرى حينئذ نقطة منيرة فى تلك النقطة والبورة حَ تسمى فى هذه الحالة بورة تقديرية وذلك لتميزها عن البورات الاخر المسماة بالبورات الحقيقية التى سبق الكلام عليها وهى التى تنتج من تقاطع الاشعة المنعكسة نفسها أى الممكن استقبالها على حجاب

(فى البورة المرتبطة لنقطة موجودة خارج المحور الاصلى)

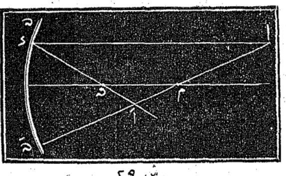
اذا فرضت نقطة ضوئية ا خارج المحور الاصلى لمرآة مقعرة فيرى من التجربة أيضا أن جميع الاشعة التى تنتشر منها تجتمع بعد أن تنعكس على سطح المرآة فى نقطة واحدة آ كما هو مبين فى (شكل ٢٨) وتسمى نقطة آ بالبورة المرتبطة لنقطة ا وبما أن الشعاع الذى يسقط على سطح المرآة من نقطة ا تبعا للاتجاه ا م ينعكس على اتجاهه فيرى أن البورة المرتبطة لنقطة موجودة خارج المحور الاصلى توجد على الخط الواصل منها الى مركز المرآة ويسمى ذلك الخط بالمحور الثانوى للنقطة المذكورة



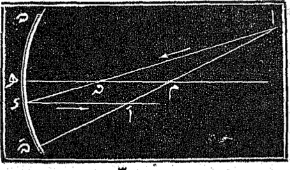
ش ٢٨

اذا تقرر ذلك يقال انه اذا أريد ايجاد البورة المرتبطة لنقطة موجودة خارج المحور الاصلى بطريقة عملية يكفى اعتبار أحد الاشعة الساقطة من تلك النقطة على سطح المرآة ورسم الشعاع المنعكس المقابل له فالنقطة التى يقابل فيها ذلك الشعاع المحور الثانوى للنقطة المعلومة تكون هى الصورة المطلوبة

الا أنه لاجل السهولة قد صار انتخاب شعاعين يمكن رسم اتجاهيهما بعد أن ينعكسا بغاية من السهولة فاذا اعتبر مثلا الشعاع اد المنتشر من نقطة ا موازيا للمحور الاصلى (شكل ٢٩) فذلك الشعاع بعد أن ينعكس يمر بالبورة الاصلية للمرآة و فالنقطة آ التى يقابل فيها الخط د و المحور الثانوى للنقطة ا تكون هى البورة المرتبطة للنقطة المذكورة ويمكن ايضا اعتبار الشعاع الساقط المار بالبورة الاصلية للمرآة عوضا عن الشعاع الموازى لمحورها فذلك الشعاع ينعكس موازيا للمحور الاصلى للمرآة ويقابل المحور الثانوى لنقطة ا فى نقطة آ تكون هى النقطة المطلوبة (شكل ٣٠)



ش ٢٩

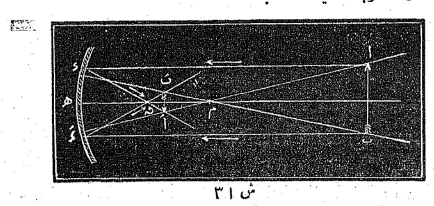


ش ٣٠

(تكوين صور المرئيات فى المرايات المقعرة)

صورة أى مرئى هى مجموع البورات المرتبطة لنقطه ويمكن رسم صورة أى مرئى موضوع أمام مرآة مقعرة بطريقة هندسية الآتية لاجل السهولة لانعتبر هنا الا الحالة البسيطة التى يكون فيها المرئى خطا مستقيما عموديا على المحور الاصلى للمرآة

أوّلا — ليكن مستقيم منير اب (شكل ٣١) موضوعا أمام مرآة مقعرة فى جهة من مركزها مخالفة للجهة التى فيها المرآة فلاجل ايجاد صورته يكفى ايجاد صورتى طرفيه ا و ب باحدى الطريقتين السابقتين ولتكن الطريقة الاولى وكيفية ذلك أن يرسم من النقطتين ا و ب مستقيمان اد و ب دَ موازيان للمحور الاصلى ثم يوصل من النقطتين د و دَ الى بورة المرآة فالنقطة بَ التى يقابل فيها الخط دَ ق المحور الثانوى لنقطة ب تكون البورة المرتبطة لتلك النقطة وكذلك النقطة اَ تكون البورة المرتبطة لنقطة ا وبذلك يكون الخط اَ بَ هو صورة الخط اب وبالتأمل فى تلك الصورة يرى أنها حقيقية ومقلوبة وأصغر من المرئى اب وموجودة بين مركز انحناء المرآة وبورتها الاصلية واذا فرض أن المرئى اب يقرب من المركز فيشاهد أن صورته تقرب منه أيضا وتكبر



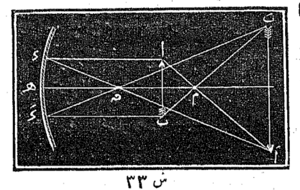
ش ٣١

ثانيا — نفرض أن المرئى اب (شكل ٣٢) يوجد على المستقيم المرسوم من مركز انحناء المرآة عموديا على محورها الاصلى فيرى عند ذلك ان المحور الثانوى لنقطة ا مثلا لا يقابل سطح المرآة ولذلك يلزم لايجاد البورة المرتبطة لتلك النقطة رسم شعاعين ساقطين منها على سطح المرآة أحدهما مواز لمحورها الاصلى والثانى مار ببورتها فالاول يمر انعكاسه بالبورة الاصلية والثانى ينعكس موازيا للمحور الاصلى كما ذلك

ش ٣٢

مبين فى (شكل ٣٢) فالنقطة التى يتقابل فيها هذان الشعاعان المنعكسان تكون صورة النقطة ا وتوجد صورة النقطة ب بالطريقة عينها وبالتأمل فى هذا الرسم يرى أن الصورة اَ بَ تكون حقيقية ومقلوبة ومساوية للمرئى ومماثلة له بالنسبة للمحور الاصلى

ثالثا — اذا كان المرئى ا ب موجودا بين مركز انحناء المرآة وبورتها يرى بتطبيق الطريقة الرسمية التى استعملناها سابقا أن الصورة تكون خارج المركز وحقيقية ومقلوبة وأكبر من المرئى (شكل ٣٣) ويشاهد بسهولة أيضا أنه كلما اقترب المرئى من بورة المرآة كبرت صورته وبعدت عن مركزها

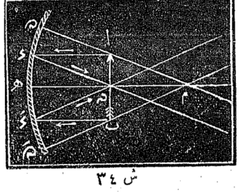


ش ٣٣

رابعا — اذا كان المرئى ا ب مارا بالبورة الاصلية ں (شكل ٣٤) فيرى عند استعمال الطريقة الرسمية الاولى ان المحور الثانوى لنقطة ا والشعاع المنعكس د ں لا يتقابلان وهو الواقع لانه بسبب صغر فتحة المرآة يكون

ا د = ں هـ = م ں

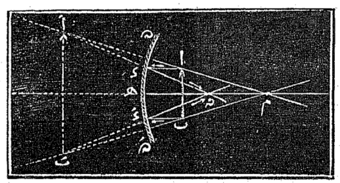
وبذلك يكون الشكل الرباعى ا م ں د متوازى أضلاع بما أن فيه الضلعين المتقابلين م ں و ا د متساويان ومتوازيان ومن ذلك ينتج ان المستقيم د ں الذى يتقابل مع المستقيم ا م يعين البورة المرتبطة لنقطة ا لا يقابل ذلك الخط أمام المرآة ولا خلفها أعنى أنه عندما يكون مرئى مارا ببورة مرآة مقعرة وعموديا على محورها الاصلى فلا تتكون له صورة الا أنه يقال أحيانا ان الصورة تكون عند ذلك عظيمة جدا وعلى بعد غير نهائى من المرآة



ش ٣٤

خامسا — لنفرض أخيرا أن المرئى ا ب موجود بين المرآة وبورتها الاصلية (شكل ٣٥) فاذا رسم المحور الثانوى لنقطة ا والشعاع ا د الذى ينتشر من هذه النقطة موازيا للمحور الاصلى وينعكس تابعا للاتجاه د ں يتكون شبه منحرف ں م ا د فيه الضلع ا د أصغر من الضلع م ں وذلك لانه أصغر من الخط ں هـ المساوى الى م ں فينتج حينئذ من ذلك أنه اذا مد الخط د ں على استقامته أمام المرآة فانه لا يقابل المحور الثانوى لنقطة ا الا أنه اذا مد كل من هذين الخطين خلفها فانهما يتقابلان فى نقطة اَ تكون هى البورة المرتبطة لنقطة ا

وبالكيفية عينها توجد البورة المرتبطة بَ لنقطة ب فيرى حينئذ أنه اذا كان المرئى موضوعا بين البورة والمرآة فتكون صورته تقديرية وأكبر منه ومستقيمة وكلما قرب من المرآة صورته تقرب منها أيضا وتصغر

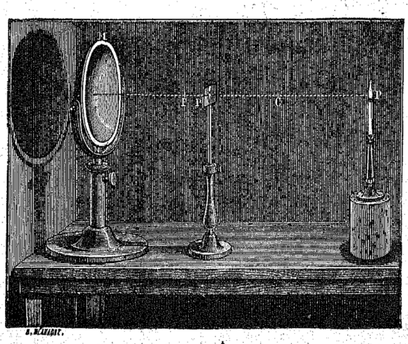


س ٣٥

(طريقة تحقيق النتائج السابقة بالتجربة)

يمكن تحقيق النتائج السابقة بتجربة بسيطة وهى أن تؤخذ شمعة متقدة وتوضع أمام مرآة مقعرة ثم يبحث عن النقطة التى تتكوّن فيها صورتها بأخذ حجاب صغير وتحريكه أمام المرآة الى أن تتكوّن عليه صورة مضبوطة للشمعة فيشاهد

أولا — عندما تكون الشمعة بعيدة جدّا عن المرآة (شكل ٣٦) تكون صورتها صغيرة جدّا ومقلوبة وموجودة تقريبا فى المستوى البورى للمرآة



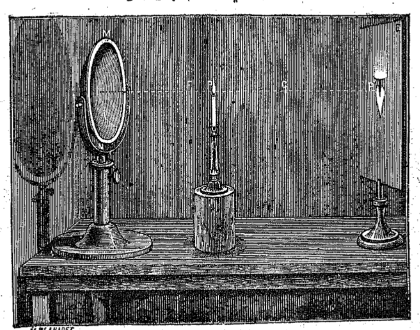
ش ٣٦

ثانيا - كلما قربت الشمعة من مركز المرآة تقرب صورتها منه أيضا وتكبر شيأ فشيأ الا أنها تبقى دائما أصغر من الشمعة ومقلوبة

ثالثا - عندما تصير الشمعة فى مستوى المركز تصير صورتها فيه أيضا ومساوية لها

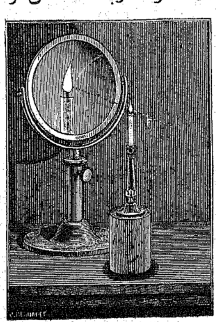
رابعا - اذا حركت الشمعة من المركز الى البورة يشاهد أن صورتها تبعد عن المركز وتأخذ فى الكبر وتبقى دائما مقلوبة (شكل ٣٧)

خامسا - عندما تصل الشمعة الى البورة يرى عدم وجود صورة لها



ش ٣٧

سادسا - عندما تحرك الشمعة من البورة الى المرآة (شكل ٣٨) يرى أن صورتها تصير تقديرية وأكبر منها وتأخذ فى الصغر كلما قربت الشمعة من المرآة



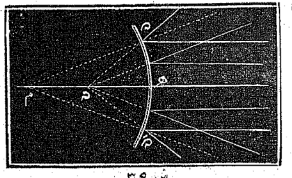
ش ٣٨

(فى تعيين البعد البورى لمرآة مقعرة)

لاجل ذلك تستقبل على المرآة المذكورة الاشعة الآتية من الشمس بحيث تكون هذه الاشعة موازية لمحورها الاصلى ثم يؤخذ حجاب صغير ويحرك على المحور المذكور الى أن تصير صورة الشمس عليه مضبوطة فعند ذلك يكون بعده عن المرآة يساوى البعد البورى المطلوب ايجاده

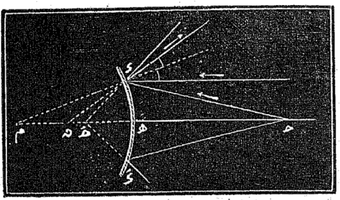
(فى المـــرايات المحـــدبة)

ان النتائج التى يتحصل عليها عند استعمال المرايات المحدبة مخالفة بالكلية لنتائج المرايات المقعرة فاذا استقبلت حزمة من الاشعة المتوازية على مرآة محدبة بحيث تكون موازية لمحورها الاصلى فانها عوضا عن أن تمر بنقطة واحدة بعد أن تنعكس تتفرق بحيث ان امتداداتها هى التى تمر بنقطة واحدة ں موجودة خلف المرآة على محورها الاصلى وفى منتصف نصف قطر انحنائها هـ م كما هو مبين فى (شكل ٣٩) ومن ذلك يرى ان للمرايات المحدبة بورة أصلية كالمرايات المقعرة الأ ان البورة المذكورة تكون تقديرية



ش ٣٩

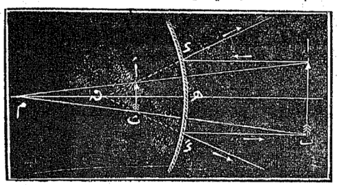
واذا أخذت نقطة ضوئية ح على المحور الاصلى لمرآة محدبة فيشاهد من التجربة والرسم المبين فى (شكل ٤٠) ان صورة النقطة المذكورة حَ تكون تقديرية وموجودة بين المرآة وبين بورتها الاصلية وكذا اذا أخذت نقطة منيرة خارج المحور الاصلى تتكوّن لها صورة تقديرية خارج المحور الاصلى وموجودة على المستقيم الواصل من النقطة المنيرة الى مركز انحناء المرآة وذلك الخط يسمى بالمحور الثانوى للنقطة



ش ٤٠

(تكوين صور المرئيات فى المرايات المحدبة)

اذا فرض مستقيم ا ب موجودا أمام مرآة محدبة فيكفى لايجاد صورته عملا ايجاد صورتى طرفيه ا و ب بالطريقة التى اتبعناها فى المرايات المقعرة كما هو مبين فى (شكل ٤١) ويرى من الشكل المذكور أن المرايات المحدبة تكون دائما صورا تقديرية ومستقيمة ومصغرة للمرئيات التى



س ٤١

توضع أمامها ويمكن أن يرى بغاية من السهولة أيضا انه كلما بعد مرئى عن مرآة محدبة فان صورته تقرب من بورتها وتصغر

الباب الرابع

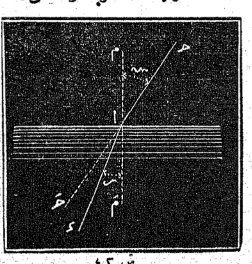
(فى انكسار الضوء)

الفصل الاول

(فى مرور الاشعة من وسط الى آخر مفصول عنه بسطح مستوى)

(فى اثبات حصول الانكسار)

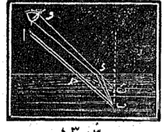
قد أعطى اسم انكسار للتغير الذى يحصل فى اتجاه الاشعة الضوئية عندما تمر بانحراف من وسط شفاف الى وسط آخر شفاف مختلفى الكثافة فاذا فرض مثلا ان شعاعا حـ ا (شكل ٤٢) قابل بانحراف سطح الماء فانه يدخل فى باطنه وعوضا عن أن يستمر على الانتشار فى اتجاهه الاصلى ا حَ يأخذ اتجاها آخر ا ى وقد سمى الشعاع حـ ا بالشعاع الساقط والشعاع ا ى بالشعاع المنكسر والزاوية س بزاوية السقوط والزاوية ص بزاوية الانكسار



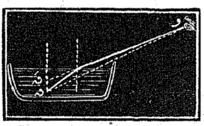
س ٤٢

وتثبت ظاهرة الانكسار بالتجربتين الآتيتين

أولا ـ اذا غمر جزء من عصا ا ب فى الماء بانحراف فانها تظهر منكسرة فى نقطة الانغماس كما هو مبين فى (شكل ٤٣) وذلك يثبت ان الاشعة التى تؤثر على العين الموجودة فى و تأثيرا به ترى نقطة ب فى الوضع بَ لا تسير على خطوط مستقيمة بل انها ترتفع أولا فى الماء تابعة للاتجاه ب د ثم انها تنكسر عندما تخرج منه وتتبع اتجاها آخر د و وتؤثر حينئذ على العين كما اذا كانت آتية من نقطة بَ موجودة على اتجاهاتها


ش ٤٣

ثانيا ـ اذا وضع انسان قرصا معدنيا ن (شكل ٤٤) فى اناء جدره معتمة ثم تباعد عنه شيأ فشيأ الى أن تمنع حافته رؤية القرص وصب فى الاناء ماء شاهد ارتفاع القرص مع قاع الاناء كلما ارتفع سطح الماء حتى يرى القرص بتمامه مع انه قار فى محله وما ذلك ناتج الا من انكسار الاشعة المرتفعة من القرص فى الماء عند ما تخرج من ذلك السائل كما رأينا ذلك فى التجربة السابقة


ش ٤٤

تنبيه ـ عند ما تمر الاشعة الضوئية من وسط الى آخر فاذا كان الوسط الثانى اكثر كثافة من الوسط الاول فان الشعاع المنكسر يقرب على العموم من العمود ويكون دائما فى المستوى المار به والشعاع الساقط

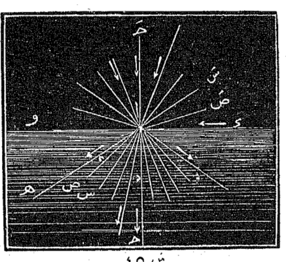
أما اذا كان الوسط الثانى أقل كثافة من الوسط الاول فان الشعاع المنكسر يبعد عن العمود ويكون أيضا فى المستوى المار به والشعاع الساقط

واذا كان الشعاع المار من وسط الى آخر عموديا على سطح انفصالهما فانه لا ينكسر

(فى زاوية الحد والانعكاس الكلى)

يوجد ارتباط قوى بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار حتى انه لو كبرت احداهما بمقدار محدود تكبر الثانية تبعا لها بمقدار محدود أيضا وبالعكس . اذا تقرر ذلك يقال انه لو فرض شعاع س ا مار من الماء الى الهواء (شكل ٤٥) فانه عند ما يخرج من ذلك السائل يبعد عن العمود ح حَ ويأخذ فى الهواء اتجاها آخر ا سَ بحيث تكون الزاوية حَ ا سَ أكبر من الزاوية ح ا س

واذا فرض شعاع آخر ص ا صانعا مع العمود زاوية ص ا ح أكبر من الزاوية س ا ح فانه عندما يخرج من الماء يبعد عن العمود أيضا ويصنع معه زاوية حَ ا صَ أكبر من الزاوية ح ا سَ أعني انه لو فرض ان زاوية السقوط آخذة في التزايد شيأ فشيأ فزاوية الانكسار تأخذ في التزايد تبعا لها وتكون على الدوام أكبر منها وبناء على ذلك يرى انه أثناء ذلك التزايد لابد أن يأخذ الشعاع الساقط وضعا ه ا تكون فيه زاوية الانكسار مساوية الى ٩٠° أي يكون

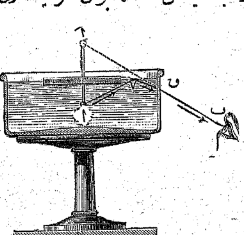


ش ٤٥

فيه الشعاع المنكسر مماسا لسطح الماء فزاوية السقوط ه ا ح تسمى عند ذلك زاوية الحد وقد ظهر من التجربة انه اذا زادت زاوية السقوط عن زاوية الحد فالشعاع الساقط لا يخرج من الماء بل ينعكس على سطحه كما ينعكس على سطح مرآة مستوية ويسمى ذلك الانعكاس بالانعكاس الكلي ومقدار زاوية الحد يختلف باختلاف الاواسط التي تنفذ منها الاشعة الضوئية فقدارها يساوى ٤٨° اذا اعتبر الماء والهواء و ٤٢° اذا اعتبر الزجاج والهواء

(في ذكر تجربة بسيطة مؤسسة على الانعكاس الكلي)

يوضع مقدار من الماء في حوض من الزجاج و ثم يوضع على سطح ذلك السائل قرص مستدير من الفلين قطره يساوى ٦ سنتيمترات تقريبا ومثبت فيه من أسفله دبوس طوله يساوى سنتيمتر (شكل ٤٦) فبسبب هذه الابعاد جميع الاشعة التي تنتشر من أي نقطة من نقط الدبوس وتقابل سطح السائل بعيدا عن القرص تكون مع الاعمدة المقامة من نقط سقوطها زوايا أكبر من زاوية الحد ويحصل فيها حينئذ الانعكاس الكلي وفي الواقع انه اذا نظر الى الدبوس من أي نقطة فوق سطح السائل لا يمكن رؤيته أما اذا نظر من أسفل ذلك السطح بوضع العين في نقطة



ش ٤٦

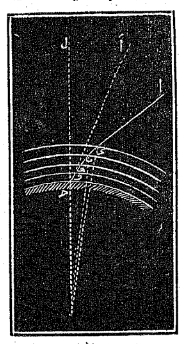
كالنقطة ب مثلا فيرى صورة للدبوس خارج الماء ومماثلة له بالنسبة لسطح الانفصال

(فى نتائج الانكسار)

ان نتائج انكسار الاشعة الضوئية عديدة ولنذكر أهمها فنقول

أولا — أخذ الاشياء عندما ينظر اليها بانحراف وهى موجودة فى سائل شفاف كالماء وضعا مخالفا للموجودة فيه وقد سبق الكلام على ذلك

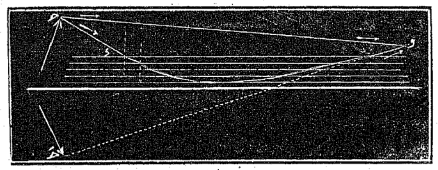
ثانيا — تأثير ظاهرة الانكسار على الاشعة الآتية الينا من الكواكب فانه يحصل فيها أثناء مرورها فى الجو جملة انكسارات تكون نتيجتها رؤية الكواكب أكثر ارتفاعا مما هى فيه فى الحقيقة وذلك لان الجو مكون من جملة طبقات مركزية آخذة كثافتها فى الازدياد من جزئه العلوى الى الارض فينتج من ذلك ان الاشعة الضوئية التى تنفذ من الجو يحصل فى كل منها انكسارات تكون نتيجتها تقريبة من العمود فاذا فرض مثلا شعاع ضوئى وصل الى ابتداء الجو فى الاتجاه ا د (شكل ٤٧) فانه عوضا عن أن يستمر على الانتشار فى اتجاهه يرسم خطا منكسرا د ب هـ و حـ فاذا كان حينئذ بصر فى نقطة حـ فان عينه ترى الكوكب على اتجاه الاشعة التى تسقط عليها أى فى وضع أ أكثر ارتفاعا مما هو فيه



س ٤٧

ثالثا — السراب وهو ظاهرة بصرية تحصل فى البلاد الحارة و بها ترى المرئيات البعيدة صور منقلبة تكون غالبا تحت الارض وهذه الظاهرة كثيرا ما تشاهد فى قفار الديار المصرية أيام الحر اذا كان الجو صافيا والهواء ساكنا فيتهيأ للناظر من بعد أن أمامه بركة متسعة فيها صور منقلبة للمرئيات التى على حافتها وأول من وضح هذه الظاهرة هو مونج الطبيعى وسببها أنه اذا اشتدت سخونة الرمل من حر الشمس سخنت الطبقة السفلى من الهواء التى تلى الارض ثم تسخن هذه الطبقة الطبقة التالية لها وهكذا بحيث انه اذا كان الهواء ساكنا تتكون جملة طبقات متتالية آخذة كثافتها فى التزايد شيأ فشيأ ابتداء من الارض لحد معين فينتج من ذلك أنه اذا فرضت عين راصد فى الوضع و (شكل ٤٨) وفرض أن حـ هى قمة جسم مرتفع و حـ د أحد الاشعة الآتية بانحراف من تلك النقطة الى سطح الارض فعندما يخترق الشعاع المذكور الطبقات الهوائية المتتالية التى سبق الكلام عليها يحدث فيه عدة انكسارات تكون نتيجتها ابعاده عن العمود فى كل منها و ينتهى أخيرا بأن يصل طبقة بحيث تكون زاوية سقوطه أكبر من زاوية

الجذ فينعكس الشعاع المذكور على هذه الطبقة كما ينعكس على سطح مرآة مستوية فاذا وقع حينئذ على عين المبصر الموجودة فى و بعد أن يحصل فيه ذلك الانعكاس فيؤثر عليها كما اذا كان آتيا من نقطة حَ موجودة على اتجاهه

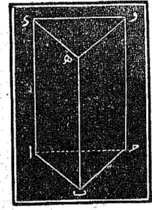


س ٤٨

والسبب المتمم لرؤية السراب بلون الماء هو لون السماء المنعكس على سطح الطبقة المذكورة

(المنشـــــور)

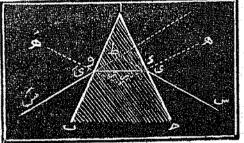
المنشور عبارة عن وسط شفاف محدود بسطحين مستويين مائل أحدهما على الثانى ويعطى له عادة شكل الجسم المسمى فى علم الهندسة بالمنشور الثلاثى كما ذلك مبين فى (شكل ٤٩) فالزاوية الزوجية هـ ب المكوّنة من السطحين المحددين للمنشور تسمى زاوية انكساره والخط هـ ب الذى يتقاطع فيه هذان الوجهان يسمى قمته والسطح المستوى المقابل لذلك الخط يسمى قاعدته وكل قطاع كالقطاع ا ب حـ عمودى على قمة المنشور يسمى قطاعا رئيسا له



س ٤٩

(تأثير المنشور على الاشعة التى تنفذ منه)

اذا فرض أن سـ ى شعاع ساقط (شكل ٥٠) على المنشور فى مستوى القطاع الرئيس ا ب حـ فتى مر هذا الشعاع من الهواء فى المنشور فانه يقرب من العمود ى هـ ويكتسب اتجاها ى و ومتى وصل الشعاع المذكور الى نقطة و فانه يبزغ من المنشور ويبعد عن العمود و هـَ مكتسبا اتجاها و سَ ومن ذلك يرى ان خاصية المنشور



س ٥٠

هى ازاغة الاشعة التى تخترقه نحو قاعدته وبذلك يزيغ المرئيات نحو قمته وفى الواقع انه اذا فرض أن س نقطة ضوئية و سَ عين مبصر فانها ترى نقطة س على اتجاه الاشعة التى تسقط عليها أى على الاتجاه سَ و

(زاوية الزوغان وتعيين مقدارها)

زاوية الزوغان هى الزاوية ط (شكل ٥٠) المكونة من اتجاه الشعاع الساقط واتجاه الشعاع البازغ أى هى الزاوية التى يزوغ بها الشعاع الساقط

ولتعيين مقدار الزاوية المذكورة يقال ان

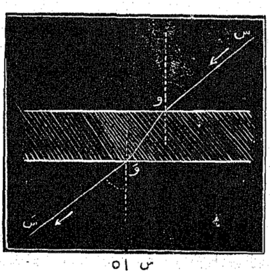
ط = ى ــ م + ىَ ــ مَ أو

ط = ى + ىَ ــ (م + مَ) = ى + ىَ ــ ا

أى انه يتحصل على زاوية الزوغان بضم زاوية السقوط ى الى زاوية البزوغ ىَ وطرح زاوية القمة من الحاصل

(مرور الاشعة الضوئية من جسم شفاف محدود بوجهين مستويين ومتوازيين)

عندما تخترق الاشعة الضوئية بانحراف وسطا محدودا بوجهين مستويين ومتوازيين فان اتجاه الشعاع البازغ سَ وَ يكون موازيا الى اتجاه الشعاع الساقط س و الا أنه لا يكون على استقامة (شكل ٥١) ولا يكون انتقال الشعاع البازغ عن اتجاهه الاصلى محسوسا الا اذا كان الوسط ثخينا أو الاشعة الساقطة مائلة جدا على سطح السقوط



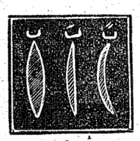
ش ٥١

الفصل الثانى

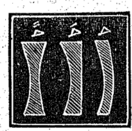
(فى العدسات)

(تعريفات)

العدسات هى أواسط شفافة تصنع عادة من الزجاج وكل منها محدود بسطحين كرويين أو بسطح كروى وسطح مستوى ويعرف من العدسات نوعان العدسات اللامة والعدسات المفرقة فالعدسات اللامة المسماة أيضا بالعدسات الرقيقة الحافة لان حافتها تكون دائما أرق من جزئها المركزى هى التى تلم الاشعة المتوازية التى تسقط عليها أما العدسات المفرقة المسماة أيضا بالعدسات الثخينة الحافة لان حافتها تكون دائما أثخن من جزئها المركزى فهى التى تفرق الاشعة المتوازية التى تسقط عليها


ش ٥٢

ويعرف من العدسات اللامة ثلاثة مبينة فى (شكل ٥٢) وهى العدسة المحدّبة الوجهين ب والعدسة المسطحة المحدّبة بَ والعدسة المحدّبة المقعرة بً التى فيها نصف قطر كرة التقعير أكبر من نصف قطر كرة التحديب


س ٥٣

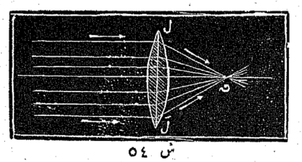
ويعرف من العدسات المفرقة ثلاثة أنواع أيضا مبينة فى (شكل ٥٣) وهى العدسة المقعرة الوجهين حً والعدسة المسطحة المقعرة حَ والعدسة المقعرة المحدّبة ح التى فيها نصف قطر كرة التحديب أكبر من نصف قطر كرة التقعير

(تعريف المحور الاصلى)

المحور الاصلى لعدسة هو الخط المار بمركزى وجهيها الكرويين واذا كان أحد هذين الوجهين مستويا فالمحور الاصلى يكون عبارة عن العمود النازل من مركز انحناء وجهها الكروى على وجهها المستوى

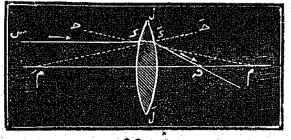
(فى العدسات اللامة و بورتها الاصلية)

اذا استقبلت حزمة من الاشعة المتوازية ولتكن الآتية الينا من نجمة مثلا على عدسة لامة ل لَ (شكل ٥٤) بحيث تكون موازية لمحورها الاصلى فيشاهد بالتجربة انها بعد أن تنفذ منها تمر جميعها بنقطة واحدة ن موجودة على المحور الاصلى وقد سميت تلك النقطة بالبورة الاصلية



ش ٥٤

للعدسة وبعدها عنها بالبعد البورى لتلك العدسة وقد شوهد بالتجربة ان البعد البورى لعدسة يبقى واحدا اذا استقبلت الاشعة المتوازية على أحد وجهيها أو على الوجه الآخر . ويمكن بيان تأثير العدسات اللامة على الاشعة المتوازية التى تخترقها بطريقة سهلة وهى أن يقال . ليكن ل لَ (شكل ٥٥) قطاع عدسة محدبة الوجهين بمستو مار بمحورها الاصلى م مَ و س ى شعاع ساقط عليها فى اتجاه موازٍ الى محورها فهذا الشعاع ينكسر عند دخوله



ش ٥٥

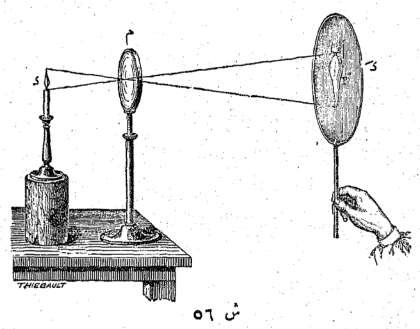
فى العدسة ويأخذ اتجاها ى ىَ أقرب من العمود المار بنقطة السقوط أى من نصف القطر م ى عن الشعاع الساقط س ى وعند خروج الشعاع المذكور من العدسة ينكسر مرة ثانية ويبتعد عن العمود المار بنقطة ىَ وهو نصف القطر م ىَ حَ

وبالتأمل فى الشكل يرى ان نتيجة هذين الانكسارين هى تقريب الشعاع الضوئى س ى من المحور الاصلى و بما أن ذلك الشعاع كان موازيا للمحور المذكور فيكون الشعاع البازغ ىَ ن غير موازٍ له ويقابله حينئذ فى نقطة ن موجودة فى جهة من العدسة مخالفة للجهة الآتى منها الشعاع الساقط وقد أثبت الطبيعيون اثباتا رياضيا ان كل شعاع ساقط على العدسة بالتوازى لمحورها الاصلى يمر مهما كانت نقطة سقوطه بعد أن يبزغ منها بالنقطة ن الا اننا نكتفى هنا بالتجربة السالفة التى أثبتت لنا ذلك أيضا

تنبيه — قد فرضنا فى (شكل ٥٤) لسهولة الرسم ان كل شعاع ساقط على العدسة عوضا عن ان يحصل فيه انكساران متتاليان أحدهما وهو داخل فيها والثانى وهو خارج منها لا يحصل فيه الا انكسار واحد وهو فى النقطة التى يقابل فيها المستوى المار بحافتها وسنفرض ذلك أيضا فى جميع ما سيأتى لاجل السهولة

(فى البورات المرتبطة للنقط المختلفة من مرئى)

اذا وضعنا على المحور الاصـلى لعدسة لامة م وعلى بعد منها أكبر من بعدها البورى جسما مضيئا كشمعة متقدة ى (شكل ٥٦) وبحثنا فى الجهة الاخرى من العدسة بكيفية مشابهة للتى استعملناها عند التكلم على المرايات المقعرة عن النقطة التى اذا وضع فيها حجاب ى َ تكون فيها اضاءة الجزء المضاء منه أعظم ما يمكن يشاهـد أن الجزء المذكور عبارة عن صورة منقلبة



ش ٥٦

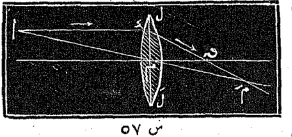
للشمعة فيستنتج حينئذ من هـذه التجربة ان كل نقطة من نقط المرئى يقابلها بورة مرتبطة تمر بها جميع الاشعة المنتشرة من تلك النقطة بعد أن تخترق العدسـة كما أن كل نقطة من نقط مرئى موضوع امام مرآة مقعرة يقابلها بورة مرتبطة تمر بها جميع الاشـعة المنتشرة من تلك النقطة بعد أن تنعكس على سطح المرآة ويظهر من التجربة السابقة أيضا ان عظم الصورة التى تتكون وبعدها عن العدسة يتغيران مع تغير وضع الجسم المضىء ى بالنسـبة للعدسة الا أننا قبل التكلم على الاحوال المختلفة التى تكون فيها هذه الصورة يلزمنا أن نتكلم على ما يسمى بالمركز البصرى لعدسة وما يسمى بالمحور الثانوى لنقطة

(فى المركز البصرى والمحور الثانوى)

يوجد فى كل عدسة كروية نقطة تسمى بمركزها البصرى ومتمتعة بالخاصية الآتية وهى كل شعاع ضوئى مار بالمركز البصرى لعدسة يخرج منها بدون أن ينحرف

والمركز البصرى لعدسة يوجد على محورها الاصلى وفى باطنها فمثلا اذا كان وجها العدسة متساويين فيكون مركزها البصرى على محورها الاصلى وعلى بعدين متساويين من وجهيها ويمكن اثبات خاصية المركز البصرى بطريقة هندسية الا أننا نقتصر هنا على بيان كيفية استعماله للتحصل على البورة المرتبطة لنقطة موجودة خارج المحور الاصلى بطريقة هندسية وكيفية ذلك أن يقال

اذا فرضت نقطة ضوئية ا خارج المحور الاصلى لعدسة لامة ل (شكل ٥٧) ووصل منها الى مركزها البصرى م بالخط ا م فذلك الخط يسمى بالمحور الثانوى للنقطة ا فبناء على ما تقدم يرى ان الشعاع الضوئى الذى ينتشر من النقطة ا تابعا للاتجاه ا م يخترق العدسة بدون أن ينحرف



ش ٥٧

وبذلك تكون البورة المرتبطة للنقطة ا موجودة عليه فيكفى حينئذ لايجاد البورة المذكورة رسم السير الذى يتبعه شعاع آخر منتشر من النقطة المضيئة وليكن لاجل السهولة الشعاع ا ى الموازى لمحورها الاصلى فذلك الشعاع بعد أن يخترق العدسة يمر ببورتها الاصلية ن والنقطة مَ الذى يقابل فيها الخط ى ن المحور الثانوى للنقطة ا تكون هى البورة المرتبطة للنقطة المذكورة

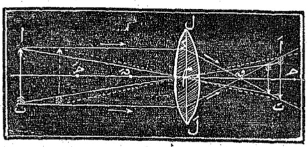
ويمكن أيضا اعتبار الشعاع ا ى (شكل ٥٨) المار بالبورة الاصلية ن عوضا عن الشعاع الموازى للمحور الاصلى فهذا الشعاع يخرج من العدسة موازيا لمحورها الاصلى ويقابل المحور الثانوى لنقطة ا فى نقطة اَ تكون هى البورة المطلوبة

ش ٥٨

(فى وضع وعظم الصور المكونة بالعدسات اللامة)

يكفى تطبيق أحد الرسمين السابقين لتعيين وضع وعظم صورة مرئى موضوع فى أى وضع كان أمام عدسة لامة فيرى عند ذلك ان النتائج هى عين التى صارا لتحصل عليها عند استعمال المرايات المقعرة ولنبين ذلك فنقول

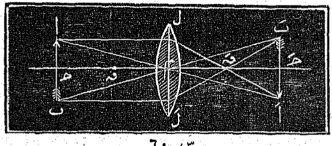
أوّلا — ليكن اب (شكل ٥٩) مرئيا موضوعا على بعد من عدسة لامة ل لَ أكبر من ضعف بعدها البورى و ن و نَ بورتى هذه العدسة و ح و حَ نقطتين توجد كل منهما على المحور الاصلى للعدسة وعلى بعد منها يساوى ضعف بعدها البورى



ش ٥٩

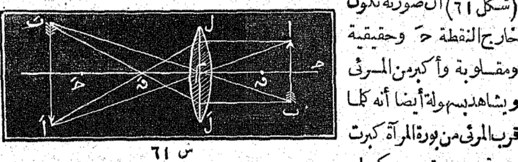
فبتعيين البورتين اَ و بَ للنقطتين ا و ب بتطبيق أحد الرسمين السابقين كما ذلك مبين فى الشكل يكون الخط اَ بَ هو صورة الخط ا ب وبالتأمل فى هذه الصورة يشاهد أنها حقيقية ومقلوبة وأصغر من المرئى وموجودة بين النقطتين ن و ح واذا فرض أن المرئى يقرب من حَ فيشاهد أن صورته تقرب من ح وتكبر كما ذلك مبين فى الشكل

ثانيا — اذا كان المرئى موجودا على بعد من العدسة يساوى ضعف بعدها البورى فبتطبيق الرسم السابق كما ذلك مبين فى (شكل ٦٠) يرى أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومساوية للمرئى وموجودة على بعد من العدسة يساوى بعد المرئى عنها



ش ٦٠

ثالثا — اذا كان المرئى اب موجودا بين نقطتى ح و ن فيرى بتطبيق الرسم أيضا (شكل ٦١) أن صورته تكون خارج النقطة حَ وحقيقية ومقلوبة وأكبر من المرئى ويشاهد بسهولة أيضا أنه كلما قرب المرئى من بورة المرآة كبرت صورته وبعدت عن مركزها



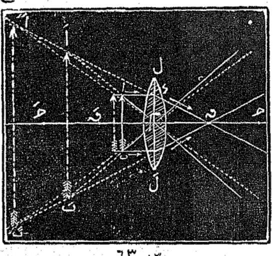
ش ٦١

رابعا — اذا كان المرئى اب (شكل ٦٢) مارا بالبورة فيرى عند استعمال الطريقة الرسمية الاولى أن المحور الثانوى لنقطة ا والشعاع البازغ د ن لا يتقابلان وذلك لان اد = ن م = م نَ وبذلك يكون الشكل الرباعى ا م نَ د متوازى الاضلاع بما أن فيه الضلعان المتقابلان م نَ و اد متوازيين ومتساويين ومن ذلك ينتج أن المستقيم د نَ

الذى يتقابله مع المستقيم ا م يعين البورة المرتبطة لنقطة ا لا يقابل ذلك الخط أمام العدسة ولا خلفها أعنى أنه عندما يكون مرئى مار ابورة عدسة لامة وعموديا على محورها الاصلى فلا تتكون له صورة الا أنه يقال أحيانا ان الصورة تكون عند ذلك عظيمة جدا وعلى بعد غير نهائى من العدسة

س ٦٢

خامسا — لنفرض أخيرا أن المرئى اب موجودا بين العدسة وبورتها الاصلية (شكل ٦٣) فاذا رسم المحور الثانوى لنقطة ا والشعاع ا ى الذى ينتشر من هذه النقطة موازيا للمحور الاصلى للعدسة ويبزغ منها تابعا للاتجاه ى ن يتكون شبه منحرف ن م ا ى فيه الضلع ا ى أصغر من الضلع م ن ومن ذلك يرى أن امتداد الشعاع البازغ ى ن والمحور الثانوى يتقابلان فى نقطة اَ موجودة فى الجهة التى فيها المرئى اب من العدسة وأبعد من ذلك المرئى عن العدسة المذكورة فينتج من ذلك حينئذ أن الاشعة المنتشرة من نقطة ا تكون بعد أن تبزغ من العدسة حزمة مفرطحة فاذا قابلت هذه الحزمة



س ٦٣

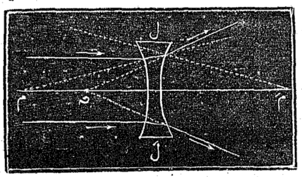
عين شخص تخيل له أنها آتية من اَ وبالكيفية عينها توجد البورة المرتبطة بَ للنقطة ب ويكون حينئذ الخط اَبَ هو صورة الخط اب وبالتأمل يرى أن الصورة اَبَ أكبر من المرئى اب ومستقيمة وتقديرية أى انه لايمكن استقبالها على حجاب ولايمكن رؤيتها الا اذا كانت عين الراصد موجودة على اتجاه الحزم المفرطحة التى تبزغ من العدسة

(فى تعيين البعد البورى لعدسة لامة)

لاجل ذلك تستقبل على العدسة المذكورة الاشعة الآتية من الشمس بحيث تكون موازية لمحورها الاصلى ثم يؤخذ حجاب صغير ويحرك على المحور المذكور من الجهة الاخرى من العدسة الى أن تصير صورة الشمس عليه مضبوطة فعند ذلك يكون بعده عن العدسة يساوى البعد البورى المطلوب ايجاده

(فى العــــدسات المفرقة)

ان النتائج التى يتحصل عليها عند استعمال العدسات المفرقة مخالفــة كليــة لنتائج العدسات اللامة فاذا استقبلت حزمة من الاشــعة المتوازية على عدســة مفرقة بحيث تكون موازية لمحورها الاصلى (شكل ٦٤) فيشاهد أنهـا عوضا عن أن تمر بنقطة واحـــدة بعــد أن تخترق العدسة تتفرق بحيث ان امتـــداداتها هى التى تمر بنقطة واحدة ى موجودة فى الجهة الآتية منهـا الاشعة المتوازية بالنسبة للعدسة



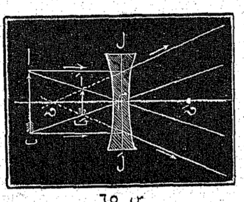
ش ٦٤

فاذا وجدت العين على سير الاشعة المتفرقة المذكورة تخيل لها وجود نقطة ضوئيــة فى ى ومن ذلك يرى أن للعدسات المفرقة بورة أصليــة كالعدسات اللامة الا أن البورة المذكورة تكون تقديرية

تنبيـــه - يمكن معرفة تأثير العدسات المفرقة على الاشعة المتوازية التى تخترقها بطريقة مشابهة للتى استعملناها عند التكلم على العدسات اللامة

(فى تكوين صور المرئيات فى العدسات المفرقة)

اذا وضع مرئى امام عدسة مفرقة فيشاهد أنه مهما كان وضعه بالنسبة لتلك العدسة لا يكون الاصور اتقديرية ويمكن ايجاد وضع صورة أى مرئى اب موضوع أمام عدسة مفرقة ل لَ (شكل ٦٥) بكيفية مشابهــة للتى استعملناها للتحصل على صورة مرئى موضوع أمام عدسة لامة وكيفية ذلك أن تعيــن صورتا طرفيــه ا و ب برسم شعاعين من كل منهما أحدهما مواز للمحور الاصلى للعدســة والثانى مار بمركزها البصرى فالنقطتان اَ و بَ اللتان تتقابل فيهما امتدادات الاشعة البازغة يكونان صورتى النقطتين ا و ب



ش ٦٥

ويكون حينئذ الخط اَ بَ هو صورة الخط اب وبالتأمل فى هذه الصورة يرى أنها مستقيمة وتقديرية وأصغر من المرئى

الباب الخامس
(فى انحلال الضوء)

الفصل الاول
(فى تحليل الضوء وتركيبه)

(فى تحليل ضوء الشمس والطيف الشمسى)

اذا سقطت حزمة رقيقة من الاشعة الشمسية على منشور فيحصل فيها زيادة على الزوغان الذى سبق الكلام عليه تفرطح وتلوين والدليل على ذلك أنه اذا استقبلت الحزمة البازغة من المنشور على حجاب فيشاهد أنها تكوّن عليه صورة مستطيلة ومكوّنة من ألوان مختلفة أطرافها مختلطة بعضها بحيث انه يصعب على الانسان تحديد النقطة التى ينتهى فيها أحدها ويبتدئ الآخر ومع ذلك فانه يميز من الالوان المذكورة سبعة أصلية مرتبة كما هو آت

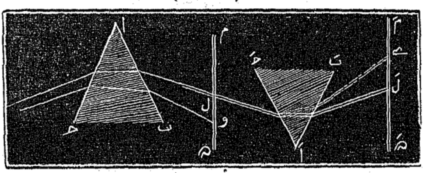
البنفسجى والنيلى والازرق والاخضر والاصفر والبرتقانى والاحمر

والبنفسجى هو الذى يكون أكثرها زوغانا وأما الاحمر فهو الذى يكون أقلها زوغانا وقد سميت هذه الصورة الملوّنة بالطيف الشمسى ولاجل توضيح كيفية تكوين الطيف الشمسى ذكر (نيوتون) أن الضوء الابيض الآتى الينا من الشمس ليس بسيطا بل مكوّنا من جملة ألوان قابليتها للانكسار مختلفة بالنسبة لوسط واحد كالزجاج وتنفصل حينئذ عن بعضها عند ما تمر فى ذلك الوسط بما أنه يكسرها بمقادير مختلفة

ش ٦٦

و (شكل ٦٦) يبين تحليل حزمة أسطوانية من الاشعة الشمسية س ى بواسطة منشور قطاعه ا ب ح فاذا كان المنشور غير موجود تكوّن على الحجاب م ن دائرة منيرة فى و وأما اذا كان موجودا فتنكسر هذه الحزمة وتحلل ويتكوّن الطيف فى هـ ط وقد عمل (نيوتن) جملة تجارب أثبت بها أن ألوان الطيف تنكسر بمقادير مختلفة بواسطة مادة واحدة وكل منها لون بسيط أى لا يمكن تحليله ويولد منه طيف آخر ولنذكر أهم هذه التجارب وأبسطها وهى أن يستقبل

الطيف على حجاب موجود فيه فتحة صغيرة ل تمر منها جملة أشعة من نوع واحد فاذا انفذت تلك الاشعة من خلال منشور ثان أ َ ب َ حـ َ (شكل ٦٧) فيشاهد فيها زوغان فقط بدون انحلال

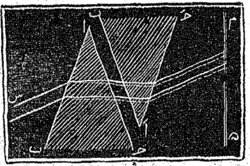


ش ٦٧

فاذا فرض أن الاشعة التي مرت حمراء تكونت على الحجاب م َ د َ نقطة حمراء في ل َ واذا أدير المنشور ا ب حـ حول محوره الى أن تأخذ الاشعة البنفسجية اتجاه الاشعة الحمراء تكونت نقطة بنفسجية أيضا على الحجاب م َ د َ الا أنها تتكون في ى وذلك يثبت ان الاشعة البنفسجية تنكسر بواسطة المنشور أكثر من الاشعة الحمراء وان كلا من هذين اللونين لون بسيط

(في عود تركيب الضوء)

قد فعل (نيوتون) لتتميم نظريته السابقة جملة تجارب كون بواسطتها اللون الابيض بضم ألوان الطيف الى بعضها ولنذكر أهم هذه التجارب وهي أن يستقبل الطيف المتكون بواسطة منشور اب حـ على منشور آخر أ َ ب َ حـ َ مساوله في زاوية القمة وموضوع بالقرب منه وفي وضع مخالف لوضعه بحيث يكون وجهاهما القريبان متوازيين كما ذلك مبين في (شكل ٦٨) ثم تستقبل الحزمة البازغة من ذلك المنشور على حجاب م د فيشاهد أنها تكون عليه صورة بيضاء وذلك لأن المنشور الثاني يصير الحزمة الحمراء التي تبزغ من المنشور الاول موازية الى الحزمة البنفسجية التي تبزغ منه أيضا وينطبق معظم الحزمة الاولى على معظم الحزمة الثانية



ش ٦٨

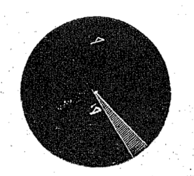
وكذا على الحزم المتكونة من الالوان الاخر الموجودة بين هاتين الحزمتين فانطباق هذه الالوان هو الذي يولد الصورة البيضاء ويرى تلوين خفيف في الحافتين العليا والسفلى من هذه الصورة لأن الاشعة النهائية لا تنطبق كلية على الاشعة المجاورة لها

(فى قرص نيوتون)

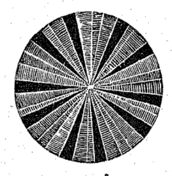
ويمكن البرهنة أيضا بأنه اذا أثرت جميع ألوان الطيف على العين فى آن واحد نتج عنها لون أبيض باستعمال قرص تخيله (نيوتون) وسماه باسمه ولاجل فهم القاعدة المؤسسة عليها هذه التجربة يؤخذ قرص أسود من ورق المقوى ح ملصوق على قطاع منه قطعة من الورق الاحمر حَ (شكل ٦٩) فاذا أدير ذلك القرص بسرعة بواسطة يد مثبتة فى جزئه المركزى ظهر لنا جميع سطحه أحمر وذلك ناتج من كون تأثير قطعة الورق الحمراء على عيننا وهى فى كل وضع من أوضاعها يبقى مدة من الزمن بعد أن تنتقل منه بحيث انا نراها أثناء دوران القرص شاغلة لجميع أوضاعها المتتالية فى آن واحد

واذا كانت قطعة الورق زرقاء ظهر لنا جميع القرص أزرق

وقرص (نيوتون) عبارة عن قرص كالسابق (شكل ٧٠) ملصوق عليه قطاعات من ورق متلون كل منها بلون من ألوان الطيف ومرتبة على حسب ترتيب ألوانه



ش ٦٩


ش ٧٠

فبناء على ما ذكر فى التجربة السابقة يرى أنه اذا أدير ذلك القرص بسرعة ظهر أنه ملوّن بجميع الالوان الموجودة عليه فى آن واحد

وحيث انه عند دورانه يظهر للعين أن سطحه أبيض فذلك يدل على أن تأثير جميع ألوان الطيف على العين فى آن واحد يولد لونا أبيض

(فى الألوان المتممة لبعضها)

يقال ان لونين متممين لبعضهما اذا كان بانطباقهما يولدان لونا أبيض

فمثلا اذا استقبل الطيف الشمسى على حجاب فيه فتحة ينفذ منها أحد الالوان ثم جمعت الالوان الاخر لذلك الطيف بواسطة عدسة فى نقطة واحدة فيتحصل على لون متمم للذى مر من الفتحة

(فى ألوان الاجسام)

ان الالوان التى تظهر لنا بها الاجسام عندما تكون مضاءة بضوء الشمس لا تتعلق الا بقوتها العاكسة للالوان البسيطة المختلفة فاللون الذى يكتسبه الجسم يكون تابعا لطبيعة الاشعة التى يعكسها فاذا كان الجسم يعكس جميع ألوان الطيف ظهر لونه أبيض واذا عكس الاشعة الحمراء أو الخضراء أو الزرقاء وامتص باقى الاشعة التى باجتماعها تكون لونا متمما للمعكوس كان لونه أحمر أو أخضر أو أزرق أما اذا امتص الجسم جميع الاشعة التى تسقط عليه ولم يعكس منها شيأ ظهر أسود

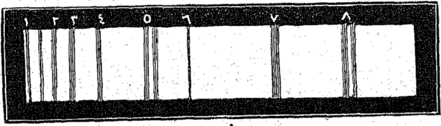
أما الاجسام الشفافة فيكون لونها متعلقا بطبيعة الاشعة التى تنفذ منها فالتى تنفذ منها جميع الاشعة تكون لا لون لها والتى تمر منها الاشعة الحمراء دون الاخر تكون حمراء وهكذا

الفصـــــل الثـانى

(فى الكلام على الطيف)

(فى خطوط الطيف)

اذا استعملت الطريقة التى ذكرها (نيوتون) للتحصل على طيف نقى أى على طيف لا تنطبق فيه الالوان المتجاورة على بعضها يشاهد فيه عدة خطوط صغيرة سود عمودية على طوله وقد شاهد الطبيعى (فرونهوفير) من هذه الخطوط ماينوف عن السمائة وسماها باسمه وأكثر هذه الخطوط وضوحا سبعة مجاميع مبينة فى (شكل ٧١) سميت بالحروف الابجدية واذا استعملت الآلة المسماة بالسبكتروسكوب التى أسست لاجل مشاهدة الطيف يرى من هذه الخطوط عدد عظيم جدا منتشر من أول الطيف الى آخره



ش ٧١

ولاجل معرفة السبب المولد لهذه الخطوط يجب أولا مشاهدة طيف ينابيع الضوء الصناعية

(فى طيف الينابيع الصناعية)

ان الاجسام الصلبة أو السائلة المسخنة الى الدرجة الحمراء تولد دائما طيفا مستمرا ليس فيه الخطوط السود التى تشاهد فى طيف الشمس أما الاجسام الغازية فانها تولد طيفا غير مستمر مكونا من خطوط لماعة منفصلة عن بعضها بمسافات مظلمة

ولاجل الحصول على طيف الاجسام الغازية يجب أن لا يكون فى اللهب الا أجسام غازية فقط لانه اذا استعمل لهب محتو على جزئيات صلبة صغيرة كلهب شمعة مثلا نتج طيف مستمر بسبب كون اضاءة هذه الجزئيات تفوق بكثير اضاءة الجسم الغازى واللهب المستعمل للتحصل على طيف جسم معدنى على الحالة الغازية هو لهب مصباح (بونزين) فاذا أخذ المصباح المذكور ووضع فى لهبه على التوالى أملاح معادن مختلفة يشاهد أن أملاح كل معدن لها طيف خاص بها بحيث انه يمكن تعيين معدن أى ملح بمشاهدة طيفه وقد أسس (كرشوف) على ذلك طريقة تحليل مفيدة جدا لا يمكن أن يقارن بها طرق التحليل الكيماوية وكانت سببا فى استكشاف جملة من المعادن الحديثة العهد

(فى طيف الشمس)

ان طيف الشمس يختلف عن أطياف الاجسام الصلبة والسائلة لكونه يشتمل على خطوط مظلمة عددها عظيم جدا والتجارب الآتية توصلنا الى معرفة النظرية التى ذكرت لبيان السبب المولد لهذه الخطوط

اذا أخذ مصباح (بونزين) ووضع فى لهبه سلك من البلاتين غمر فى محلول كلورالصوديوم شوهد طيف مكون من خط أصفر يشغل بالضبط محل أحد الخطوط المظلمة الموجودة فى الطيف الشمسى واذا وضع هذا اللهب على طريق الاشعة المنتشرة من قضيب من الجير مسخن الى الدرجة الحمراء المبيضة فيشاهد فى طيف ذلك القضيب الذى كان يلزم أن يكون مستمرا اذا كان القضيب منفردا خط أسود شاغل بالضبط محل الخط الاصفر الذى تولده لهب مصباح بونزين المملح

فينتج حينئذ من هذه التجربة أن لهب مصباح بونزين المملح الذى ينشر الاشعة الصفر فقط يمتص أيضا الاشعة التى من نوع التى تنتشر منه دون غيرها

وهذه التجربة عمومية بمعنى أنه لو وضع فى طريق حزمة ضوئية قوية ناتجة من تسخين جسم صلب أو سائل أبخرة مسخنة أيضا فيتولد فى طيف هذه الحزمة خطوط سود شاغلة بالضبط محل الخطوط المضيئة الخاصة بطيف هذه الابخرة

وبناء على ذلك يرى أنه يكفى لبيان السبب المولد للخطوط السود التى توجد فى طيف الشمس فرض أن الجزء المركزى من هذا الكوكب مكوّن من مادة صلبة أو سائلة درجة حرارتها عظيمة جدا ومحاطة بجوّ غازى اضاءته أقل من اضاءة الجزء المركزى فعندما تخترق الاشعة الآتية من الجزء المذكور ذلك الجو يمتص منها الاشعة التى هى من طبيعة التى يكوّنها اذا كان منفردا

وبمقارنة الخطوط السود الموجودة فى طيف الشمس بالخطوط المضيئة التى تكوّنها الغازات المسخنة قد عرف أن جو الشمس يحتوى على مقدار عظيم من الايدروجين الملتهب ومن أبخرة الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد والكروم والخارصين و الخ

(فى الخواص الحرارية والخواص الكيماوية للطيف)

أوّلا - اذا وضع على التوالى فى النقط المختلفة من طيف الشمس عمود ترمو كهربائى متصل بجلوانومتر شوهد وجود حرارة فى النقط المذكورة يزداد مقدارها من البنفسجى الى الاحمر واذا حرك العمود المذكور خارج الطيف شوهد وجود حرارة أيضا على امتداده من جهة الاحمر ومقدارها يأخذ فى التناقص من الاحمر الى بعد منه مساو الى طول الطيف تقريبا ومن هنا يستنتج أن الاشعة الشمسية تحتوى على أشعة حرارية مظلمة قابليتها للانكسار أقل من قابلية الاشعة الحمراء له

ويلزم لاجل عمل التجربة السابقة انتخاب وقت صاف جدا واستعمال منشور من ملح الطعام لان الابخرة المائية والمناشير التى من الزجاج تمتص مقدارا عظيما من الحرارة التى تنفذ منها

ثانيا - اذا استقبل الطيف الشمسى على مادة تتحلل بالضوء ككلورور أو برومور الفضة شوهد أن التأثير الكيماوى لا يكون واحدا فى جميع نقطه بل انه يكون معدوما تقريبا فى الاحمر والاصفر والبرتقانى ثم انه يبتدئ من الاخضر آخذا فى التزايد الى البنفسجى ثم يمتد خارج الطيف آخذا فى التناقص ومن هنا يستنتج أيضا أن الاشعة الشمسية تحتوى على أشعة كيماوية معتمة قابليتها للانكسار أكثر من قابلية الاشعة البنفسجية له ويلزم لاجل عمل التجربة السابقة استعمال منشور من البلور الصخرى لان الزجاج يمنع أغلب الاشعة الكيماوية المعتمة من المرور

الباب السادس

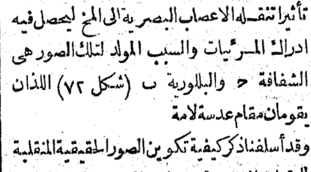
(فى الابصار والآلات الابصارية)

الفصل الاول

(فى الابصار)

(فى وصف العين)

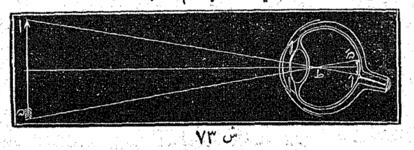
ان السبب المولد لرؤية الاجسام هى الصور الحقيقية التى تتكوّن على الشبكية وتحدث فيها تأثيرا تنقله الاعصاب البصرية الى المخ ليحصل فيه ادراك المرئيات والسبب المولد لتلك الصور هى الشفافة ح والبلورية ب (شكل ٧٢) اللذان يقومان مقام عدسة لامة



ش ٧٢ قطاع مقلة العين

وقد أسلفنا ذكر كيفية تكوين الصور الحقيقية المنقلبة للمرئيات الموضوعة بعيدا عن البورة الرئيسة لعدسة لامة فالصورة الحقيقية تتكوّن على الشبكية بالطريقة عينها كما هو مبين فى (شكل ٧٣)

ص الصلبة ح القرنية الشفافة م المشيمية ع القزحية ن الحدقة ك الشبكية ى الرطوبة المائية ب البلورية ط الجسم الزجاجى



ش ٧٣

(فى تكييف العين)

لا ترى عيننا المرئيات واضحة الا اذا تكوّنت صورها بالضبط على الشبكية وقد رأينا عند التكلم على العدسات أن صورة أى مرئى لا تتكوّن فى نقطة معينة بالنسبة لعدسة الا اذا كان المرئى موجودا فى نقطة معينة أيضا بالنسبة لتلك العدسة

وبذلك يظهر فى بادئ الامر أن العين لا ترى بوضوح الا المرئيات الموضوعة فى وضع معين بالنسبة اليها ومع ذلك فان ذلك ليس بحقيق بل ان عين كل شخص ترى بوضوح من أبعاد مختلفة جدّا وهذا ما يعبر عنه بتكييف العين

ففى النظر المعتاد ترى العين بوضوح من بعد عظيم جدّا الى نهاية صغرى يتغير مقدارها من ١٢ الى ١٥ سنتيمترا وذلك ليس مناقضا لخاصية العدسات لانه تقدم أنه اذا كان بعد المرئى عن العدسة عظيما بالنسبة لبعدها البورى وغير مقداره بمقدار كبيرة فان التغير الذى يحصل فى بعد صورته عن العدسة يكون صغيرا جدّا ويحصل العكس اذا كان المرئى قريبا من البورة وحيث ان البعد البورى لعين الانسان يساوى ١,٥ سنتيمتر تقريبا فيرى أنه عندما يتغير بعد المرئى عنها من بعد لانهائى الى بعد مساو الى ثلاث سنتيمترات يتغير وضع الصورة بمقدار مساو الى ١,٥ سنتيمتر واذا حسب مقدار تغير وضع الصورة اذا تغير بعد المرئى من بعد لانهائى الى بعد مساو الى ١٢ سنتيمترا من العين فيوجد أنه لا يزيد عن اثنين أو ثلاثة أعشار من المليمتر وبما أن الشبكية توجد تقريبا فى المستوى البورى للاجزاء الشفافة للعين فيرى ان الصور تتكوّن عليها أو قريبا جدّا منها عندما يتغير وضع المرئيات من بعد لانهائى الى بعد يساوى ١٢ سنتيمترا ومع ذلك فان الصور المذكورة تتكوّن دائما بالضبط عليها فى النظر السليم عندما تشغل المرئيات الاوضاع السابق ذكرها وذلك بسبب شغل يحصل فى البلورية فيفرطحها قليلا أو كثيرا على حسب بعد المرئى عن العين

والدليل على حصول ذلك التفرطح هو أننا اذا نظرنا الى مرئيين موجودين على بعدين مختلفين من العين وأمعنا النظر فى أحدهما فان الثانى يصير قليل الوضوح وبالعكس وكذا اذا أردنا أن نقرأ أو نكتب وأعيننا قريبة جدّا من الكتابة فنستشعر بألم فى العين ناشئ عن المجهود المستعمل لحصول التفرطح المذكور

ويمكن اثبات حصول ذلك التفرطح بالتجربة الآتية وهى أن يوضع أمام عين شخص شمعة متقدة فيرى عند ذلك داخلها ثلاث صور الاولى مستقيمة ومتكوّنة من انعكاس جزء من أشعة الشمعة على سطح الشفافة والثانية مستقيمة أيضا وناتجة من انعكاس جزء آخر من تلك الاشعة على سطح البلورية والثالثة الصورة الحقيقية التى تتكوّن على الشبكية فاذا وضع أمام تلك العين كتاب وأمر الشخص بالقراءة ثم غير وضع الكتاب والشخص يقرأ فيرى ان الصورة الاولى تبقى ثابتة والثانية والثالثة يتغير موضعاهما وذلك يثبت تغير شكل البلورية لتتكوّن الصورة دائما على الشبكية التى يتغير وضعها أيضا

(فى النهاية الصغرى للابصار)

قد ذكرنا فيما سبق أن النظر السليم يرى بوضوح من بعد غير نهائى الى مسافة تتغير من اثنى عشر الى خمسة عشر سنتيمترا ومع ذلك فانه لا يتيسر لاى شخص رؤية تفاصيل المرئيات البعيدة جدا عن العين وذلك بسبب كون الصور التى تتكوّن لها على الشبكية تكون صغيرة جدا ولرؤية تفاصيل أى مرئى أحسن ما يمكن يجب جعله على بعد من العين بحيث تكون صورته التى تتكوّن على الشبكية أكبر ما يمكن أى على أصغر بعد من العين يكون فيه النظر واضحا وهذا البعد هو المسمى بالنهاية الصغرى للابصار

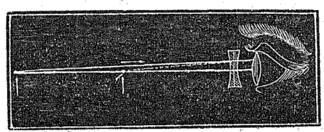
(فى الانواع المختلفة للنظر)

ان النهاية الصغرى للابصار تختلف باختلاف الاشخاص وكثيرا ما تكون مختلفة فى عينى شخص واحد وهذه النهاية تختلف من ١٢ الى ١٥ سنتيمترا فى النظر المعتاد لكن هنالك أشخاص لا يرون المرئيات بوضوح الا من بعد أكبر أو أصغر من ذلك فيرى أشخاص أصغر مسافة لنظرهم أقل من ١٢ سنتيمترا ويوجد بعد نهائى لا ترى أعينهم من بعده أى نهاية عظمى لابصارهم فهؤلاء الاشخاص لا ترى من بعيد الا أنها ترى التفاصيل أحسن من الاشخاص الذين نظرهم معتاد وهذا المرض يسمى بالنظر القصير والشخص المصاب به يسمى بذى النظر القصير وترى أشخاص أخرى تبلغ النهاية الصغرى لبصرهم أربعين سنتيمترا فهؤلاء الاشخاص لا يمكنهم رؤية تفاصيل الاجسام وهذا المرض يسمى بالنظر الطويل والشخص المصاب به يسمى بذى النظر الطويل

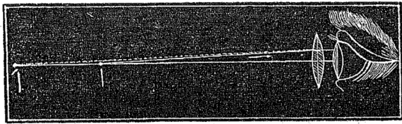
والنظر القصير ناتج عن ازدياد انحناء القرنية أو البللورية فينتج من ذلك ازدياد انضمام الاشعة الضوئية التى تمر من الاوساط الشفافة للعين فصورة المرئيات التى توضع على بعد مساو للنهاية الصغرى لابصار النظر السليم بدلا عن أن تتكوّن على الشبكية تتكوّن أمامها وحينئذ يكون من الضرورى تقريب المرئى كثيرا من العين لتتأتى رؤيته بوضوح ويوجد أشخاص يلتجؤن الى وضع المرئى على بعد سنتيمترين أو ثلاثة فقط لحصول على تلك النتيجة

والنظر الطويل ينشأ عن سبب مخالف للذى ينشأ عنه قصر النظر فهو متعلق بتسطح القرنية وتفرطح البللورية فتكون نتيجة ذلك تناقص انضمام الحزم الضوئية التى تنفذ من الاواسط الشفافة للعين وعلى مقتضى ذلك تزداد مسافة الصورة فبدلا عن أن ترسم على الشبكية تميل الى أن تتكون خلفها دائما اذا كان المرئى قريبا من العين

ويتدارك النظر القصير بوضع أمام الاعين عدسات مفرقة تقلل انضمام الحزم الضوئية الآتية من المرئيات والنظر الطويل باستعمال عدسات لامة وذلك مبين فى (شكلى ٧٤ و ٧٥)



ش ٧٤



ش ٧٥

ففى النظر القصير الاشعة الآتية من ا تسقط على العين كما اذا كانت آتية من اَ أى من نقطة أقرب منها ويحصل العكس عند استعمال العدسات اللامة فى النظر الطويل

الفصل الثانى
(فى الآلات الابصارية)

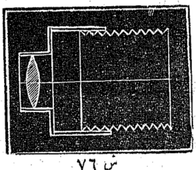
(فى أنواع الآلات الابصارية)

هى آلات معدة لتكوّن صورا للمرئيات أعظم منها وهى تنقسم الى بسيطة ومركبة فالبسيطة هى التى لا يدخل فيها الاجزء بصرى واحد أى التى لا تتركب الا من عدسة واحدة أو من جملة عدسات تقوم مقام عدسة واحدة وأما المركبة فهى التى تشتمل على جملة أجزاء بصرية كل منها يؤثر بمفرده

ويعرف من الآلات البسيطة نوعان ماتكوّن صورا حقيقية وماتكوّن صورا تقديرية أما التى تكوّن صورا حقيقية فهى ثلاثة الخزانة المظلمة والفانوس السحرى والميكروسكوب الشمسى وأما التى تكوّن صورا تقديرية فأهمها هو المنظار العينى أى الميكروسكوب البسيط والآلات الابصارية المركبة هى الميكروسكوب المركب وهو معد لرؤية المرئيات الصغيرة جدا والنظارة الفلكية وهى معدة لرصد الاجرام السماوية والنظارة الارضية ونظارة (غاليلى) وكلتاهما معدة لرصد الاجسام البعيدة الموجودة على سطح الارض

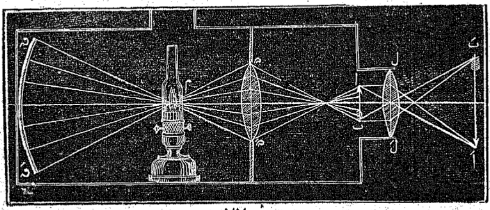
(فى الخـــــزانة المظلمة)

هذه الآلة كانت مستعملة قديما فى فن الرسم وتستعمل الآن فى الفوتوغرافيا كما سنبين ذلك فيما سيأتى وهى تتركب من صندوق مستطيل جدره الجانبى من جلد اسود مثنى كجلد المنفاخ بحيث انه يمكن قبضه و بسطه بالارادة لاعطائه أطوالا مختلفة (شكل ٧٦) والجزء المقدم من هذا الصندوق مصنوع من الخشب وفيه فتحة مستديرة مثبتة فيها انبوبة من النحاس الاصفر حاملة لعدسة لامة تكون صورا حقيقية للمرئيات التى توضع أمامها على حجاب من الزجاج النصف شفاف موضوع فى الجزء الخلفى للصندوق وبما ان المرئيات تكون على ابعاد مختلفة من العدسة فبتغير وضع الحجاب بتغيير طول الصندوق اتتكون صور المرئيات بالضبط عليه


ش ٧٦

(فى الفانوس السحرى)

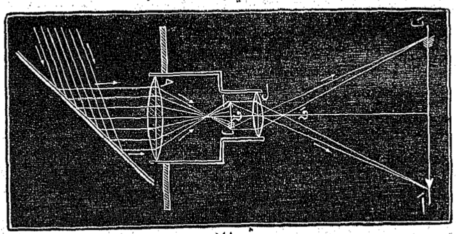
هو آلة تستعمل للحصول على صورة حقيقية ومعظمة للمرئيات الصغيرة والجزء المهم من هذه الآلة هو عدسة لامة توضع المرئيات المراد التحصل على صورها على بعد منها أكبر من بعدها البورى بقليل فتتكون لها حينئذ صور حقيقية معظمة جدا تستقبل على حجاب أبيض موجود داخل أودة مظلمة يوجد فيها المتفرجون وبما ان الصورة التى تتكون تكون كبيرة جدا بالنسبه للمرئى فيجب اضاءة هذا الاخير اضاءة عظيمة لتكون صورته منيرة و يتحصل على هذه الاضاءة باستعمال فانوس مبين قطاعه فى (شكل ٧٧) يثبت على أحد جدره العدسة اللامة ل لَ المكونة للصور التى سبق الكلام عليها وموجود داخله مصباح م موضوع فى مركز مرآة معقرة ق قَ تعكس الاشعة التى تسقط عليها من ذلك المصباح عليه بالثانى


ش ٧٧

ويوجد في الجهة الاخرى من المصباح المذكور عدسة لامة ى ىَ تلم جميع الاشعة التى تسقط عليها مباشرة من المصباح م وبعد الانعكاس على المرآة المقعرة ى ىَ على المرئى ا ب الذى يكون عادة مرسوما على لوح زجاج وبذا يكون مضاء اضاءة عظيمة وتكون صورته اَ بَ منيرة ويمكن تعويض المصباح بالضوء الكهربائى الا انه يكون صعب التنظيم

(فى الميكروسكوب الشمسى)

هو فانوس سحرى يضاء المرئى فيه بالاشعة الشمسية أى ان الجزء المهم منه هو كما فى الفانوس السحرى عدسة لامة ل (شكل ٧٨) بورتاها ى و ىَ يوضع المرئى ا ب خارج احداهما ى وقريبا جدا منها فتتكون له حينئذ صورة منقلبة ومعظمة جدا اَ بَ تستقبل على حجاب أبيض موجود داخل أودة مظلمة يوجد فيها المتفرجون



ش ٧٨

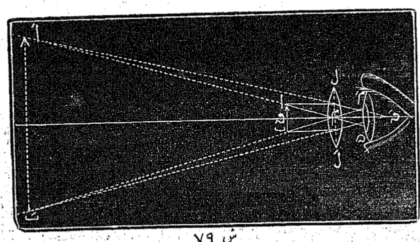
ولاجل اضاءة المرئى ا ب بالاشعة الشمسية يستعمل الجهاز المرسوم فى الشكل السابق وهو مركب من مرآة مستوية موضوعة خارج الاودة المظلمة تسقط عليها الاشعة الضوئية فتعكسها على عدسة لامة ح تلمها فى بورتها فيوضع المرئى الموجود بين لوحين من زجاج مضغوطين عليه بين قطعتين معدنيتين بواسطة مسمار برمة بالقرب من هذه البورة المجتمعة فيها جميع الاشعة الشمسية التى سقطت على المرآة المستوية وبذلك يكون مضاء اضاءة عظيمة وتكون صورته حينئذ منيرة

وحيث ان اتجاه الاشعة الشمسية يختلف على الدوام فيلزم تغيير اتجاه المرآة العاكسة الموجودة خارج الاودة المظلمة بحيث ان انعكاس الاشعة التى تسقط عليها يحصل دائما بالتوازى لمحور الميكروسكوب

ويتوصل الى هذه النتيجة باستعمال برمتين احداهما تدير المرآة المستوية حول محور مار بمستويها والاخرى حول محور مار بمحور الآلة

(فى المنظار العينى)

ان أهم الآلات الابصارية البسيطة التى تكوّن صورا تقديرية هو المنظار العينى وهو عبارة عن عدسة لامة توضع أمام العين لرؤية تفاصيل المرئيات الصغيرة ولتكن ل لَ (شكل ٧٩) عدسة لامة بورتاها ى و ىَ و ا ب مرئى صغير موضوع على بعد من هذه العدسة أقل من بعدها البورى فينتج حينئذ بناء على ماسبق انه اذا وجدت عين شخص خلف هذه العدسة فانها ترى فى اَ بَ صورة تقديرية ومستقيمة لذلك المرئى



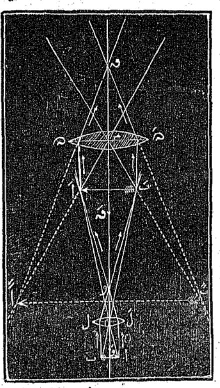
ش ٧٩

ولاجل بيان الفائدة التى تنتج من استعمال المنظار العينى يقال انه اذا نظر الانسان الى مرئى وعينه عارية وكان مراده رؤية دقائقه أحسن مايمكن فيضعه على بعد من عينيه مساو الى النهاية الصغرى لابصاره أما اذا أراد رؤيته بمساعدة المنظار العينى فانه يبتدئ بوضع عينه قريبة جدًّا من المنظار المذكور ليقع عليها معظم الاشعة التى تخترقه ثم يقرب المرئى أو يبعده عنه الى أن تصير صورته اَ بَ على بعد من العين مساو الى النهاية الصغرى لابصارها فاذا فرض عند ذلك ان المركز البصرى للعين منطبق على المركز البصرى للمنظار تكون الزاوية التى ترى عليها العين المرئى ا ب وصورته اَ بَ واحدة وتكون هذه الزاوية أكبر من التى ترى عليها العين المرئى ا ب اذا كان موضوعا على بعد منها مساو الى النهاية الصغرى لابصارها وبذلك يرى ان المنظار العينى يكبر الزوايا التى ترى عليها المرئيات ولذلك يستعمل لرؤية الدقائق أى التفاصيل

وأحيانا تثبت العدسة المكوّنة للمنظار العينى فى حامل معدنى رأسى أسفله حامل آخر أفقى معدّ لتثبيت المرئيات فيه ويمكن تغيير وضعه بالنسبة للمنظار بالارادة بواسطة مسمار برمة وفى هذه الحالة يطلق أحيانا على ذلك الجهاز اسم ميكروسكوب بسيط

(فى الميكروسكوب المركب)

هذه الآلة تتركب من عدستين احداهما تسمى شخصية وهى تكون صورا حقيقية ومعظمة للمرئيات التى توضع أمامها والثانيـة تسمى عينية وهى تخدم كمنظار عينى لرؤية هذه الصور (والشكل ٨٠) يبين سير الاشعة فى ميكروسكوب مركب وفى هذا الشكل ل لَ هى الشخصية و ى ىَ هى العينية و و و وَ هما بورتا العدسة الاولى و ى و ىَ هـما بورتا العدسـة الثانيـة فاذا فرض مرئى ا ب موضوع أمام العدسـة الشخصية على بعد منها ازيد بقليل على بعدها فتتكوّن له بناء على ما سبق صورة حقيقية اَ بَ أكبر منه ومقلوبة وبما ان العينية ى ىَ موضوعة على بعد من هذه الصورة أقل من بعدها البورى فالاشعة التى تخرج من الشخصية وتتقابل فى النقط المختلفة من الصورة المذكورة تسـقط على العدسة العينية كما اذا كانت آتية من جسم منير موضوع فى اَ بَ فتتكوّن حينئذ صورة تقديرية اً بً تراها العـين الموجودة فى الجهة الاخرى من العينية



ش ٨٠

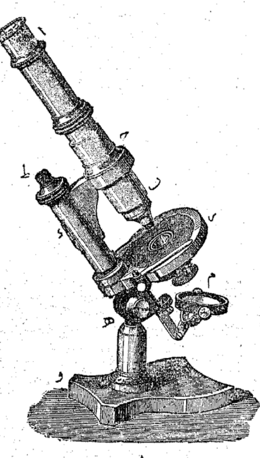
و بتغيير البعد بين الشخصية والمرئى بتكبيره أو بتصغيره يتوصل لصيرورة الصورة التقديرية اً بً على بعد من عين الناظر مساو للنهاية الصغرى للابصار

تنبيـــه — من الرسم السابق يرى ان الميكروسكوب المركب يعظم المرئيات أكثر من المنظار العينى بكثير وذلك لانه عند استعمال الميكروسكوب المذكور ينظر الانسان دائما بواسطة العينية الى صورة معظمة للمرئى لا الى المرئى نفسه كما يحصل ذلك فى المنظار العينى ولذلك فالميكروسكوب المركب يستعمل لرؤية المرئيات الصغيرة جدا الغير ممكن مشاهدتها كاللازم بواسطة المنظار

(فى بيان الاجزاء الاضافية الداخلة فى الميكروسكوب المركب)

ان الشخصية والعينية مثبتتان فى أنبوبة ا ب (شكل ٨١) محمولة بواسطة حلقة ح على حامل ء هـ و به عرضـة م يوضـع عليها المرئى المراد مشاهدته بعـد جعـله بين قطعتين رقيقتين من الزجاج

وعندما تكون المرئيات المراد مشاهدتها شفافة وهذه هى الحالة العمومية فتضاء من أسفل بواسطة مرآة مقعرة م يمكن تحريكها حول محورين مختلفين يستقبل عليها الضوء الآتى من بقعة نيرة من السماء أو من لهب مصباح ثم تحرك الى أن تجتمع جميع الاشعة المنعكسة عليها على المرئى أما اذا كانت المرئيات المراد مشاهدتها معتمة فتنار من أعلى بواسطة عدسة لامة مثبتة فى الانبوبة ا ب تحرك شيأ فشيأ الى أن تجتمع جميع الاشعة التى تسقط عليها على المرئى وأخيرا فيوجد مسمار برمة ط مثبت فى محور الحامل ويصلح لرفع الاسطوانة ء أو لخفضها وذلك لتبعيد الشخصية أو تقريبها من المرئى الى أن يرى واضحا ويلزم أن يكون البعد البورى لشخصية الميكروسكوب المركب صغيرا جدا لكى يكون المرئى المراد مشاهدته قريبا منها وبدون ذلك تكون الحزمة الضوئية التى تسقط من المرئى على الشخصية رفيعة جدا وتكون حينئذ الصورة غير منيرة وزيادة على ذلك فانه نتج من التجربة والحساب ان تعظيم الميكروسكوب يزداد بصغر البعد البورى لشخصيته وللتحصل على شخصية



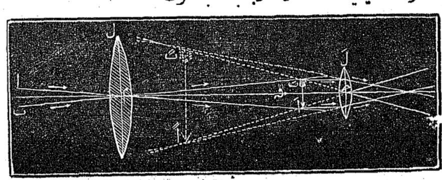
ش ٨١

ذات بعد بورى صغير يثبت عدستان أو ثلاثة بجوار بعضها فى أنبوبة معدنية قصيرة يمكن تثبيتها فى الطرف السفلى من الانبوبة ا ب بواسطة قلاووظ ثم ان العينية مكونة أيضا من عدستين مثبتتين فى طرفى أنبوبة قصيرة أخرى يمكن تركيبها على الجزء العلوى من الانبوبة ا ب

(فى النظارة الفلكية)

هذه الآلة معدة لرصد الاجرام السماوية وهى تتركب كالميكروسكوب المركب من شخصية تكون صورا حقيقية للمرئيات التى توجد أمامها ومن عينية تخدم كمنظار عينى لرؤية هذه الصور وبما أن النظارة الفلكية معدة لرصد المرئيات البعيدة التى لا يمكن تقريبها ولا انارتها زيادة عما هى عليه فيعطى لشخصيتها سطح متسع جدا ليقع عليه مقدار عظيم من الاشعة

و (شكل ٨٢) يبين سير الاشعة فى نظارة فلكية ولنفرض أن ل هى الشخصية و لَ هى العينية وان المرئى موجود على يسار الشخصية ل وعلى بعد عظيم منها فتتكوّن له بناء على ماسبق صورة حقيقية أَ بَ مقلوبة وقريبة جدّا من بورة العدسة الشخصية وطرفا هذه الصورة وهما أَ و بَ يكونان موجودين على المحورين الثانويين ا م أَ و ب م بَ لطرفى المرئى وحيث ان العينية لَ موضوعة بحيث تتكوّن الصورة أَ بَ بينها وبين بورتها فيرى أنه اذا وجدت عين شخص خلفها فانها ترى صورة تقديرية أً بً معظمة ومستقيمة بالنسبة للصورة الحقيقية أَ بَ ومقلوبة بالنسبة للمرئى



ش ٨٢

وبما أنه لا يمكن تغيير المسافة بين الشخصية والمرئيات البعيدة التى ترصد بالنظارة الفلكية فالعينية هى التى تقرب أو تبعد من الشخصية الى أن يرى الراصد الصورة أً بً واضحة ويتوصل الى هذه النتيجة بتثبيت الشخصية فى طرف أنبوبة كبيرة يمر فى طرفها الآخر أنبوبة أخرى أرفع منها محتوية على العينية ويمكن ادخالها فى الانبوبة الاولى كثيرا أو قليلا لتغيير المسافة التى توجد بين عدستى النظارة

(فى حامل الشعرة والمحور البصرى)

حيث ان النظارات الفلكية معدّة بالاخص لتحديد الاتجاهات التى توجد فيها الكواكب بالنسبة للراصد فيكون من الضرورى تحديد خط مستقيم فى كل نظارة يرصد حسب اتجاهه ولاجل ذلك يوضع فى باطن أنبوبة النظارة وفى المستوى الذى تتكوّن فيه الصورة الحقيقية ما يسمى بحامل الشعرة (شكل ٨٣) وهو عبارة عن غشاء فى وسطه فتحة مستديرة مثبت فيها حسب اتجاهين عموديين على بعضهما شعرتان رفيعتان

ش ٨٣

ولاجل رصد أى كوكب توجه النظارة بحيث ترى عين الراصد صورة هذا الكوكب منطبقة بالضبط على نقطة تقابل الشعرتين فعند ذلك يكون الكوكب موجودا على امتداد الخط المستقيم

المار بنقطة تقابل الشعرتين والمركز البصرى للشخصية فهذا الخط هو الذى يعين اتجاه الرصد وقد سمى بالمحور البصرى للنظارة

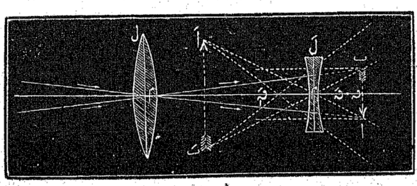
(فى النظارة الارضـــــية)

ان الصور ترى مقلوبة فى النظارة الفلكية الا أنه لا يبالى بهذا الانقلاب عند رصد الكواكب لكونها ليس لها صورة مشخصة حتى يظهر فيها الانقلاب وعدمه أما اذا أريد مشاهدة المرئيات الارضية فينبغى أن تكون مستقيمة وقد توصلوا الى ذلك بوضع عدستين بين شخصية النظارة الفلكية وعينيتها الغرض منهما تعويض الصورة المقلوبة التى تكونها الشخصية بصورة أخرى مستقيمة ينظر اليها بواسطة العينية وقد سميت تلك النظارة بالنظارة الارضية

(فى نظـارة غـاليلى)

ان المرئيات التى ينظر اليهـا بتلك النظارة ترى مستقيمة أيضا وتركيبها مخالف بالكلية لتركيب النظارة الارضـية وهى تتركب من عدستين فقط شخصية وعينية الا أن العينية هنا عوضا عن أن تكون عدسة لامة كما ذلك فى جميع الآلات التى سبق الكلام عليها فهى عدسة مفرقة وهى التى تصير الصورة المقلوبة التى تكونها الشخصية مستقيمة والذى استكشف هذه النظارة هو (غاليلى) وكان يستعملها لرصد الافلاك وهى لا تستعمل الآن الا فى الملاعب

فاذا فرض أن الشخصية هى ل (شكل ٨٤) وان المرئى موجود بعيدا على يسارها فانها تميل الى أن تكون له صورة حقيقية ومقلوبة ا ب الا أن هذه الصورة لا تكون فى الحقيقية بل أن الأشعة المكونة لها تقابل فى سيرها قبل أن تكونها عدسة مفرقة لَ موضوعة على بعد من ا ب أكبر من بعدها البورى ودَ م فبعد أن تخترق تلك الاشعة هذه العدسة يظهر انها آتية من صورة اَ بَ مقلوبة بالنسبة للصورة ا ب ومستقيمة حينئذ بالنسبة للمرئى ولاجل رسم هذه الصورة عملا يعتبر شعاعان من التى تكون نقطة ا ان لم تكن العدسة لَ موجودة

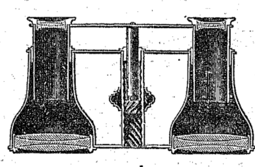


ش ٨٤

وليكونا الشعاع المار بالمركز البصري للعدسة المفرقة والشعاع الموازي لمحورها الاصلي فالشعاع الاول يستمر في سيره ولا ينكسر والشعاع الثاني يبعد عن المحور الذي كان موازيا له وامتداده يمر بالبورة ب َ فنقطة تقابل هذين الشعاعين تكون هي النقطة التي تمر بها امتدادات الاشعة الضوئية التي بدون وجود العدسة المفرقة ل َ تتقاطع في نقطة ا

فينتج من ذلك حينئذ انه لو فرض ان عين شخص موجودة خلف تلك العدسة فترى صورة تقديرية في الوضع ا َ ب َ معظمة ومستقيمة وبتقريب الشخصية والعينية من بعضهما يصير تقريب أو تبعيد الصورة ا َ ب َ عن العين وبذلك كل راصد يمكنه تكوين هذه الصورة على بعد من عينيه يساوي النهاية الصغرى لابصاره بتقريب هاتين العدستين أو بتبعيدهما عن بعضهما ولسهولة تغيير البعد بين هاتين العدستين يوضعان في اسطوانتين تدخل احداهما في الاخرى كما في النظارة الفلكية

وفي نظارة (غاليلي) فائدتان الاولى انها ترينا المرئيات على وضعها الطبيعي والثانية انها قصيرة جدا يمكن الانسان ان يحملها معه ولذا تستعمل في الملاعب وغالبا تكون هذه النظارة مزدوجة كما ذلك مبين في (شكل ٨٥)



ش ٨٥

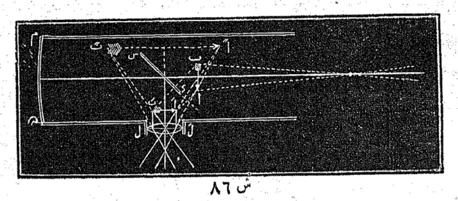
تنبيه - ان كل عدسة من عدسات النظارة الفلكية ونظارة (غاليلي) مكونة من جملة عدسات منطبقة على بعضها وذلك لمنع التلون الذي يحصل في حواف الصور التي تكونها العدسات البسيطة

(في تيليسكوب نيوتون)

ان أنواع التيليسكوب معددة كالنظارة الفلكية لرصد الاجرام السماوية وهي تفترق عنها بكون العدسة الشخصية في النظارة الفلكية معوضة بمرآة مقعرة في أنواع التيليسكوب

وأهم أنواع التيليسكوب هو تيليسكوب نيوتون وهو يتركب من مرآة مقعرة م ء (شكل ٨٦) موضوعة في قاع اسطوانة طويلة بحيث يكون مركزا تخنها موجودا على محور تلك الاسطوانة فاذا استقبلت الاشعة الضوئية الآتية من كوكب مركزه مار بمحور الاسطوانة على هذه المرآة تكونت له صورة حقيقية ومقلوبة ا ب قريبا جدا من بورتها الا أن هذه الصورة

لاتتكوّن بسبب وجود مرآة أخرى مستوية س ى مائلة على محور الاسطوانة بمقدار ٤٥° وهى موضوعة بين المرآة المقعرة و بين بورتها وتسقط عليها كل الاشعة التى تنعكس على المرآة المقعرة فتنعكس عليها حينئذ وتتكوّن صورة امامها آ بَ مماثلة للتى تتكوّن قريبا من بورة المرآة المقعرة ان لم تكن المرآة المستوية موجودة فينظر الى تلك الصورة بواسطة المنظار العينى ل لَ المثبت على جدر الاسطوانة



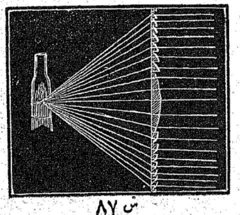
ش ٨٦

(فى الفنارات والعدسات الدرجية)

الفنارات هى مصابيح توقد على شواطئ البحار ليلا ليهتدى عليها السواحون فى البحار وكان يستعمل قديما لنقل الاشعة الضوئية الى مسافات عظيمة فى البحر مرايات مقعرة قطاعها قطع مكافئ والآن تستعمل العدسات الدرجية بدلا عنها

وقد أنشئت العدسات الدرجية لتدارك عيوب العدسات ذات الاتساع العظيم لان هذه الاخيرة عسرة الصناعة جدا والاشعة التى تسقط عليها بالتوازى لمحورها الاصلى لاتمر بنقطة واحدة بعد أن تنفذ منها وزيادة على ذلك فانها تمتص معظم الاشعة الضوئية التى تخترقها بسبب تخنها

والعدسات الدرجية مكونة نحو مركزها من عدسة مسطحة محدبة محاطة بعدة قطع حلقية ذات بورة واحدة كل منها ذو سطح مستو موجود فى الجهة المسطحة للعدسة المركزية وأما الاسطحة المحدبة فلها انحناء مخصوص بحيث ان بورات القطع المختلفة تتكوّن فى نقطة واحدة فمجموع هذه الحلقات يكون مع العدسة المركزية عدسة واحدة قطاعها مرسوم فى (شكل ٨٧)



ش ٨٧

والعدسات الدرجية هي التي تكوّن الجزء المهم من الفنارات الحالية فتى وضع مصباح في بورتها الرئيسية الموجودة من جهة سطحها المسطح فان الاشعة التي تبزغ منها تتولد منها حزمة ضوئية ذات أشعة متوازية لا تفقد بعض شدتها الا بمرورها في الهواء وتتأتى رؤيتها من بعد يزيد عن ٦٠ كيلومترا

ولاجل انارة جميع نقط الافق على التعاقب بفنار واحد تحرك العدسة حول المصباح بعدة ساعة فينتج من ذلك ان الضوء يظهر ثم يختفي في نقط الافق المختلفة واختفاء الضوء هو الذى يميز به الملاحون الفنار من النار العارضية وزيادة على ذلك فانه بسبب كون كل فنار يدور دورة تامة في زمن خاص به فيتيسر أيضا للملاحين معرفة النقطة التي يوجد فيها فنار معين وذلك بعد الدورات التي يدورها في زمن محدود

الباب السابع

(في الفتوغرافيا)

الفتوغرافيا تشتمل على جملة عمليات الغرض منها تكوين صور المرئيات وتثبيتها بواسطة مواد كيماوية تتحلل بالضوء والآلة المستعملة لتكوين صور المرئيات هي الخزانة المظلمة التي سبق الكلام عليها

ولاجل السهولة نفرض ان المراد هو أخذ صورة قطعة من الورق سوداء في وسطها دائرة بيضاء فلذلك توضع هذه الورقة أمام عدسة الخزانة المظلمة ويغير طول صندوق هذه الآلة حتى ترى الصورة المكونة واضحة على اللوح الزجاج المكون لجدار الخزانة الخلفي واذن تحفظ الخزانة على حالتها في موضعها ثم يرفع اللوح الزجاج النصف شفاف ويعاض ببرواز محتو على لوح من زجاج أحد وجهيه مغطى بطبقة تتأثر بالضوء تكون عادة من كلورور أو برومور أو يودور الفضة أما البرواز السابق فله بابان أحدهما من الامام ويفتح بالانزلاق من أسفل الى أعلى والثاني من الخلف ويفتح الى الخارج فيوضع فيه اللوح الزجاج وهو في أودة ظلماء لا تدخل فيها الأشعة حمراء بحيث يكون وجهه الذى يتأثر بالضوء تجاه الباب الاول فتى رفع هذا الباب بعد وضع البرواز في الخزانة المظلمة يكون الوجه الحساس من اللوح أمام عدسة الآلة فترسم عليه الصورة وتنطبع عليه شيأ فشيأ الا ان الاجزاء البيضاء من الورقة تنطبع عليه سوداء والسوداء بيضاء وذلك لان الاجزاء البيضاء من الورقة تنبعث منها أشعة تؤثر على الاجزاء المقابلة لها من اللوح فتصيرها سوداء وأما الاجزاء السوداء من الورقة فلا تنبعث منها أشعة

ولذا تبقى الاجزاء المقابلة لها من اللوح كما هى وعادة لا يترك الشئ الذى ترسم صورته أمام الا
حتى تنطبع هذه الصورة على اللوح الزجاج بل يؤخذ اللوح المذكور بعد أن يؤثر عليه
لحظة صغيرة ويصب عليه مخلوط مكوّن من حمض البيروغفصيك والنوشادر أو مخلوط مّ
من ثلاثة أحجام من محلول أوكسالات البوتاسيوم فيه ٢٥٠ جراما من الاوكسالات ولتر من
الماء مع حجم من محلول آخر فيه لتر من الماء و ٢٥٠ جراما من كبريتات أول أوكسيد الحديد
وأربعة جرامات من حمض الطرطريك فيرى عند ذلك ان الصورة تظهر شيأ فشيأ الى أن تصير
كما سبق وهذا ما يعبر عنه باظهار الصورة

ولا يخفى انه اذا عرض اللوح بعد أخذه من الخزانة المظلمة للضوء يتحلل ما بقى من كاورور الفضة
وتزول الصورة لان اللوح يسودّ جميعه ولذا يجب أن يحمل اللوح محفوظا فى البرواز من
الضوء الى الاودة الظلماء وهنالك ينزع منه ويعامل أولا بأحد المخاليط التى سبق الكلام عليها
لاظهار الصورة ثم بمحلول تحت كبريتيت الصوديوم فيذيب ذلك المحلول ما بقى من كاورور الفضة
فى الاجزاء التى لم تتأثر بالضوء وهى المقابلة للاجزاء السوداء من الورقة وهذا ما يعبر عنه
بتثبيت الصورة لانها حينئذ لا يخشى عليها من الضوء والصورة المتحصل عليها بهذه الكيفية
تسمى بالصورة السالبة لان الاجزاء السوداء من المرئى تظهر عليها بيضاء وبالعكس والصورة
السالبة هى التى تسمح لعمل الصورة الموجبة أى الحقيقية على قطعة من الورق فيكفى لاجل
ذلك أن يوضع خلفها قطعة من الورق مغطاة بطبقة من كاورور الفضة فى مكبس ثم تعرض
للاشعة الشمسية فهذه الاشعة تخترق اللوحة فى الاجزاء الشفافة منها التى تحيط بالدائرة
المركزية السوداء وتؤثر على كاورور الفضة فى الجزء المقابل لها من الورقة فيسودّ حينئذ أما
الدائرة المركزية الموجودة فى اللوحة فلا تمر منها الاشعة وبذلك لا يحصل فى الدائرة المقابلة لها من
الورقة أدنى تأثير ويبقى فيها كاورور الفضة كما هو ومن ذلك يرى ان تلك الورقة تصير بعد مدة من
الزمن كالورقة التى أخذت فى بادئ الامر ووضعت أمام عدسة الخزانة المظلمة فتؤخذ حينئذ
وتغمر فى محلول تحت كبريتيت الصوديوم ليذوب فيه من سطحها ما بقى من كاورور الفضة
لانه بدون ذلك يسودّ جميع سطحها عندما تعرض للضوء وبما ان اللون المتحصل عليه بهذه
الكيفية يكون غير مقبول فتغمر الصورة عادة قبل تثبيتها فى محلول مكوّن من ألف جرام من
الماء وعشرين جراما من خلات الرصاص وجرام واحد من كاورور الذهب وتترك فيه الى أن
يصير لونها بنفسجيا فتؤخذ عند ذلك وتثبت بغمرها فى محلول تحت كبريتيت الصوديوم

(فى كيفية عمل الالواح المعدّة لاخذ الصور السالبة)

ألواح الحساسة المستعملة الآن مغطاة عادة بطبقة من الغراء محتوية على مقدار من برومور الفضة وتوجد اللوحات المذكورة مصنوعة فى التجارة ولذا فان من المستحسن شراءها عوضا عن صنعها وكيفية صنع هذه اللوحات هى أن يذاب مقدار من الغراء فى الماء المسخن الى ٦٠ درجة ثم يضاف اليه مقدار من برومور النوشادر ثم مقدارا آخر من نترات الفضة فيتكوّن حينئذ برومور الفضة وازوتات النوشادر فيغسل ذلك المخلوط لتخليصه من أزوتات النوشادر القابل للذوبان فى الماء ثم يسخن الى ٣٠ درجة تقريبا ويصب منه على الالواح المراد تحضيرها وهى موضوعة وضعا أفقيا فيتجمد حينئذ على سطحها

ويجب أن تصنع هذه العملية فى أودة لا تدخل فيها الا الاشعة الحمراء لان هذه الاشعة ليس لها تأثير كيماوى وبعد عمل هذه اللوحات بالكيفية المتقدمة توضع فى علب تسد عليها سدا محكما ولا تخرج منها الا وقت الاستعمال

(فى كيفية عمل الورق المعدّ لاخذ الصورة الموجبة)

لاجل ذلك يحضر داخل الاودة المظلمة محلولان أحدهما مكوّن من أربعة جرامات من برومور النوشادر ولتر من الماء والثانى مكوّن من ١٥٠ جراما من نترات الفضة ولتر من الماء ثم توضع الاوراق المراد تحضيرها خمس دقائق على سطح المحلول الاول وخمس دقائق على سطح المحلول الثانى وبعد ذلك تجفف وتحفظ فى الظلمة الى وقت استعمالها ومع ذلك فتوجد هذه الاوراق كالالواح الحساسة مجهزة فى التجارة ولذا يكون من المستحسن شراؤها * انتهى

تم طبع هذا الكتاب فى ظل السياحة الخديوية العباسية خلد الله ملكها
وأدام على البلاد سوابغ برها آمين

